



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**MECÁNICA ELÉCTRICA**

“Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba para aumentar su disponibilidad y reducir los retrasos de la producción.”

---

### **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

#### **AUTOR**

Fred Jhonatan Ortiz Montenegro.

#### **ASESOR**

Ing. Sifuentes Inostroza Teófilo Martín

#### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Sistemas y Planes de Mantenimiento.

**TRUJILLO – PERÚ**

2017

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (MBR) APLICADO AL POOL DE MAQUINARIA PESADA DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA PARA AUMENTAR SU DISPONIBILIDAD Y REDUCIR LOS RETRASOS DE LA PRODUCCIÓN”

---

Fred Jhonatan Ortiz Montenegro

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo de Trujillo para su aprobación.

---

Ing. Jorge Salas Ruiz

Presidente

---

Ing. Jorge Antonio Inciso  
Vásquez

Secretario

---

Ing. Teófilo Martín Sifuentes  
Inostroza

Vocal

TRUJILLO – PERÚ

2017

## DEDICATORIA

A Allisson y Daleska mis hijas, que con su fuente infinita de amor y cariño me dan la fuerza necesaria para salir adelante en la vida.

A Marisol Montenegro, mi madre, que con su fuente infinita de amor, fuerza y coraje me ha enseñado a superarme día a día.

A Mario Ortiz, mi padre, por su apoyo, cariño y comprensión en todo momento de mi vida.

A Caroline Ortiz, mi hermana, por su apoyo brindado en todo momento.

A Milagros Méndez, mi esposa, por su gran amor, comprensión y apoyo que me brinda el día a día.

## **AGRADECIMIENTO**

- Ing. Sifuentes Inostroza Teófilo de la facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Cesar Vallejo. Por la asesoría brindada y el apoyo incondicional hacia los alumnos de la UCV para el logro de sus objetivos.
- Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Jorge Inciso Vásquez. Por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. No quepa duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado. Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación.

## **DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Fred Jhonatan Ortiz Montenegro con DNI N° 44333933, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, julio del 2016

---

Fred Jhonatan Ortiz Montenegro

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada “*Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba para aumentar su disponibilidad y reducir los retrasos de la producción*”. En cumpliendo con el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, con el propósito de cumplir con los requisitos para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

Por tanto, considero que el esfuerzo en el desarrollo del presente trabajo cumpla y satisfaga sus expectativas. Pongo a su consideración, este documento para su respectiva evaluación y de esta manera poder obtener su aprobación.

El Autor.

## ÍNDICE

### Contenido

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	iv
PRESENTACIÓN .....	v
RESUMEN .....	viii
ABSTRAC .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Realidad Problemática: .....	1
1.2. Trabajos previos .....	3
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	5
1.4. Formulación del problema: .....	26
1.5. Justificación.....	26
1.6. Hipótesis .....	27
1.7. Objetivos .....	27
II. MÉTODOLOGIA .....	28
Método: Cuantitativo.....	28
Diseño: Pre Experimental.....	28
F= Relación entre las variables estudiadas.....	Error! Bookmark not defined.
Diseño de investigación: Correlacional,.....	29
2.2. Variables, Operacionalización .....	30
2.3. Población y muestra .....	32
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ....	32
2.5. Métodos de análisis de datos .....	32
III. RESULTADOS .....	33
3.1. Definición de la situación actual del mantenimiento del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba.....	33
3.2. Evaluación de la maquinaria pesada, mediante el análisis de criticidad de equipos. ....	43
3.2.1. Análisis de criticidad al sistema de lubricación .....	43

3.2.2. Análisis de criticidad al -sistema de enfriamiento.....	44
3.2.3. Análisis de criticidad al sistema de combustible .....	44
3.2.4. Análisis de criticidad al sistema de admisión de aire .....	44
3.2.5. Análisis de criticidad al Sub-sistema de escape .....	45
3.2.6. Análisis de criticidad al sub-sistema eléctrico. ....	46
3.3. Diseño del sistema en base al MBR para la aplicación en la maquinaria crítica, estableciendo formatos y tablas AMEF para el análisis del comportamiento de las fallas y evaluación del número de prioridad de riesgos.....	47
3.4. Evaluación económica.....	76
IV. DISCUSIÓN .....	79
V. CONCLUSIÓN .....	82
VI. RECOMENDACIONES .....	83
IV. REFERENCIAS .....	84
<b>Da Costa .2010.</b> <i>Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción.</i> Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. ....	84
ANEXOS .....	86



## RESUMEN

La presente tesis de estudio, tiene como finalidad aumentar la disponibilidad y reducir los retrasos de la producción del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba, a través del diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (MBR).

La municipalidad Provincial de Moyobamba, a la actualidad cuenta con 15 máquinas pesadas, tales como: Volquetes, excavadoras, motoniveladoras, cargadores frontales, rodillos compactadores, tractor oruga y retroexcavadora con martillo, los cuales poseen una disponibilidad entre el rango de 77.53% a 89.17%, confiabilidad entre 81.45% a 92.88% y mantenibilidad de 27.39% a 57.96%.

Para incrementar los indicadores de mantenimiento, fue necesario realizar un análisis de criticidad a la maquinaria, agrupando las principales fallas en sistema como: lubricación, enfriamiento, combustible, admisión, escape y eléctrico. Dicho análisis de criticidad determino que los sistemas más críticos son el de lubricación y enfriamiento; los semicriticos combustible, admisión de aire y eléctrico y como único sistema no critico al escape.

Se realizó un análisis de los sistemas, mediante la elaboración de las hojas de información y decisiones a todos los sistemas, posteriormente a través del número de prioridad de riesgo, evaluar las 81 fallas más relevantes de toda la maquinaria, determinando que 38 fallas son inaceptables, 24 fallas reducibles a deseables y 19 fallas aceptables.

La metodología basada en el riesgo, permitió, aumentar la disponibilidad y confiabilidad, pero mantener constante la mantenibilidad. Disponibilidad de 88.32 a 94.25% y confiabilidad de 91.44 a 96.52%.

La implementación de este proyecto tiene una inversión de 20300 US\$, con un beneficio de 102250.411 US\$/año, recuperando la inversión en 3 meses.

***Palabras claves: Indicadores, Disponibilidad, Producción.***

## **ABSTRAC**

This thesis study aims to increase the availability and reduce delays in production of pool of heavy machinery of the Provincial Municipality of Moyobamba, through the design of a system of maintenance management based on risk (MBR).

The Provincial Municipality of Moyobamba, and currently has 15 heavy machines, such as dump trucks, excavators, bulldozers, wheel loaders, road rollers, caterpillar tractor and backhoe with hammer, which have an availability between the range of 77.53% to 89.17 % reliability between 81.45% to 92.88% and 27.39% maintainability to 57.96%.

To increase maintenance indicators, it was necessary to perform an analysis of criticality machinery, gathering the major system failures such as lubrication, cooling, fuel, intake, exhaust and electrical. Such criticality analysis determined that the most critical systems are lubrication and cooling; the semi-critical fuel, air intake and power and as a single system is not critical to escape.

An analysis of the systems was performed by preparing information sheets and decisions to all systems, then through the number of risk priority, assess the 81 most significant failures of all machinery, determining that 38 faults are unacceptable faults desirable reducible 24 and 19 acceptable failures.

The risk-based methodology allowed, increase availability and reliability, but keep constant maintainability. 88.32 to 94.25 maintainability and reliability of 91.44% to 96.52%.

The implementation of this project has an investment of US \$ 20,300, with a profit of US \$ 102250,411 / year, recouping investment in 3 months.

**Keywords: Indicators, Availability, Production.**

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática:**

En la actualidad, el mantenimiento es uno de los temas más importante para desarrollar el buen funcionamiento u operación de máquinas o equipos. Se lo define, como el conjunto de tareas o actividades que se ejecuta en los activos o máquinas que necesitan mejorar o prolongar su tiempo de operación en la producción, en otras palabras aumentar su disponibilidad y reducir las fallas imprevistas en la producción.

Actualmente el área de mantenimiento del Pool de Maquinaria Pesada de la MPM, se sitúa en un estado de gran mejora con respecto a la producción, principalmente el acarreo de materiales, excavaciones, des colmatación y desplazamiento de grandes volúmenes de terreno, generando mayor demanda en la disponibilidad de su maquinaria.

La MPM cuenta con una Gerencia en Mantenimiento, con un taller mecánico, encargándose de ejecutar actividades de mantenimiento a las 15 máquinas pesadas, comprendidos por: Volquetes, excavadoras, motoniveladoras, cargadores frontales, rodillos compactadores, tractor oruga y retroexcavadora con martillo. Estas máquinas se necesitan en cada una de las diferentes áreas programas de trabajo, sin embargo la disponibilidad de estos, ha sido perjudicado por las averías que aparecen en la hora de producción.

Esto quiere decir que a estos equipos se los está ejecutando mayormente acciones correctivas que preventivas, el cual la gerencia de dicha área genera mayor gastos en lo que es alquiler de maquinaria a empresas privadas y compra de repuestos, teniendo en cuenta que es más costoso el alquiler del equipo cuando este falla.

La Municipalidad Provincial de Moyobamba en el periodo 2016, obtuvo una pérdida económica total por alquiler de maquinaria y reparación de 684 590.00 S. / año, tal como se detalla en el Anexo 01.

Es por esta razón se va desarrollar el presente estudio “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR)” donde se dé respuesta a la siguiente problemática: la alta frecuencia de fallas y a determinar cuál es la causa raíz de estas fallas en la maquinaria pesada, que trae como consecuencia una baja disponibilidad, además de altos costos y el no cumplimiento de las metas de producción por parte de la Municipalidad Provincial de Moyobamba.

## 1.2. Trabajos previos

**Benítez (2010)**, en su tesis para obtener el Grado Académico Magister Scientiarum en Gerencia De Mantenimiento. Universidad de Zulia, Maracaibo, titulada: “Modelo de Gestión de mantenimiento basado en riesgo para máquinas y equipos de construcción”, la investigación tuvo como objetivo el proponer un modelo de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (MBR), para incrementar la confiabilidad operacional de las máquinas y equipos de construcción civil, tomando como referencias los aportes teóricos de las prácticas en mantenimiento clase mundial. El trabajo se desarrolló a través de un proyecto factible, basado en un diseño de campo y transaccional. Las técnicas de recolección de datos fueron la observación directa, la entrevista estructurada y la revisión bibliográfica. Se utilizó como instrumento la grabadora que permitió el almacenamiento de información recogida en el sitio y las notas de campo, una población de 38 empresas que ejecutaron trabajos para el sistema de transporte masivo de Maracaibo, cada una de ellas con maquinaria y equipo dentro de sus activos y una segunda población de personal ligado a las operaciones y mantenimiento de los equipos. La muestra se seleccionó de acuerdo a criterios como la existencia de historial de equipos, disponibilidad de información, criterio de uso entre otros, quedando establecida una muestra de 41 equipos. Los resultados obtenidos arrojaron la necesidad de que presenta el sistema en cuanto a mantenimiento de sus equipos y maquinas en el área de construcción civil. Asimismo se detectó la necesidad de incluir las inspecciones como fase preliminar del mantenimiento, considerar las técnicas modernas de confiabilidad para optimizar las labores de mantenimiento, reducir el tiempo entre fallas y el número de fallas de los equipos. De esta misma forma se consideraron los riesgos asociados a los equipos y sus posibles fallas y la necesidad de identificar las fallas potenciales y realizar el respectivo plan de mantenimiento enfocado en las mismas. El cual servirá de guía para todos los equipos susceptibles de mantenimiento, reducir costos y programar las operaciones en función de la disponibilidad de los máquinas.

**Villalba (2009)**, en su tesis para obtener el Grado Académico de Ingeniero Industrial. Realizada en la Universidad de Oriente (Barcelona-Venezuela), titulada: “Diseño de un sistema de información para la gestión de mantenimiento de una empresa de servicios energéticos”, se concluye que el diagnóstico operacional realizado al proceso de

mantenimiento de la flota vehicular de la división de bombeo de la empresa Tucker Energy Services, se identificaron 13 modos de fallas de los cuales el 80 % tenían alta o media criticidad, siendo las causas principales la ausencia de procedimientos para planificar y controlar la gestión, la falta de herramientas computarizadas que faciliten y optimicen la transformación de los datos en información y ausencia de una organización formal para realizar el mantenimiento preventivo.

**Rivera (2011)**, en su tesis para obtener el Grado Académico de Ingeniero Industrial. Desarrollada en la Universidad Mayor de San Marcos (Lima -Perú), titulada: “Sistema de gestión del mantenimiento industrial”, concluye que la gerencia general deberá abastecer de recursos adicionales; como implementos de seguridad, nueva indumentaria para operarios, protección para maquinaria, charlas de sensibilización, realización de talleres; a fin de consolidar el seguimiento e implementación del sistema de seguridad y salud ocupacional dentro del cuadro de Sistema de Gestión del Mantenimiento Industrial.

**RODRIGUEZ (2012)**, en su tesis para obtener el Grado Académico de Ingeniero Industrial. Realizada en la Universidad Privada Del Norte (Cajamarca-Perú), titulada: “Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca”, el presente trabajo tuvo como objetivo general la mejora de la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca permitiendo lograr incrementar la disponibilidad mecánica en dichos equipos. Se inició con el diagnóstico de la situación actual de la empresa y de la gestión de mantenimiento para llegar a conocer los puntos débiles dentro del proceso y poder formular propuestas para mejorar y reducir costos relacionados al mantenimiento. Así mismo, la propuesta de mejora será aplicada en el área involucrada con la gestión de mantenimiento.

**ZEGARRA (2016)**, en su tesis para obtener el Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista. Realizada en la Universidad Cesar Vallejo (Trujillo-Perú),

titulada: “Plan de mantenimiento preventivo basado en la criticidad de los equipos biomédicos de la Clínica Sánchez Ferrer, para aumentar su confiabilidad”, el presente estudio de tesis, aplicado al sector salud con respecto a mantenimiento de equipos biomédicos, se aplicó a la clínica Sánchez Ferrer –Trujillo, con una muestra total de 173 equipos, agrupados en 52 equipos biomédicos. Con el Objetivo de aumentar la confiabilidad mediante la evaluación de un análisis de criticidad.

Se evaluaron las condiciones actuales de los indicadores de gestión de mantenimiento, como; la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, obteniendo: 85.05%, 94.03% y 19.15% respectivamente. Obteniendo un total de 19 equipos biomédicos con bajos indicadores de mantenimiento.

El análisis de criticidad realizado a los 52 equipos biomédicos, arrojó 20 equipos críticos, 6 equipos Semi-Críticos y 26 equipos No Críticos. Esta evaluación se realizó mediante la ponderación de 6 criterios: frecuencia de fallas, impacto en la producción, impacto en el mantenimiento, impacto en el personal de mantenimiento, impacto en los pacientes e impacto ambiental.

Se realizó, un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo biomédico crítico, estimado un aumento en los indicadores de mantenimiento; Confiabilidad 90.52%, disponibilidad 97.98% y mantenibilidad 33.07%. Resultando valores aceptables para la clínica Sánchez Ferrer.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **• Gestión del mantenimiento:**

La norma europea del mantenimiento (EN 13306:2011), define a la gestión del mantenimiento como: conjunto de labores o actividades que precisan los objetivos del mantenimiento, las tácticas y los compromisos, que se realizan por medio de una programación del mantenimiento, control y supervisión. Es decir el objetivo principal es buscar establecer un sistema de gestión de la disponibilidad, mantenibilidad de los equipos, facilitar la gestión de repuestos, prolongar el tiempo entre fallos, reducir la mantenibilidad, prevenir el deterioro, prever averías, etc.

El concepto actual de la gestión del mantenimiento, está determinado por sus índices de: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, que a continuación se detallan:

a) Disponibilidad:

La disponibilidad es el principal parámetro afiliado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina o sistema esté listo para producción en un periodo de tiempo determinado. (Moubray, 2004)

$$A(t) = \left( \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (01)$$

Dónde:

<b>A(t)</b>	<b>Disponibilidad [%]</b>
<b>TPEF</b>	<b>Tiempo promedio entre fallas [Hrs]</b>
<b>TPPR</b>	<b>Tiempo promedio para reparar [Hrs]</b>

b) Confiabilidad:

Es la probabilidad de que un equipo o instalación desarrolle su función, bajo unas condiciones específicas, y durante un tiempo determinado, (Moubray, 2004).

$$R(t) = \left( e^{\frac{-\lambda * T}{100}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (02)$$

Dónde:



R(t)	Confiabilidad [%]
T	Tiempo total de estudio [Hrs]
$\lambda$	Tasa de fallas (número total de fallas con relación al tiempo promedio entre fallas del equipo) $\left[ \frac{\text{Fallas}}{\text{Hr}} \right]$

Y se expresa:

$$\lambda = \frac{1}{\text{TPEF}} \quad \dots \dots \dots (03)$$

Dónde:

TPEF	Tiempo promedio entre fallas [Hrs]
------	------------------------------------

c) Mantenibilidad:

Es la probabilidad de que un equipo en estado de fallo sea restablecido a una condición especificada, dentro de un período de tiempo dado, y usando unos recursos determinados, (Moubray, 2004).

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu * T}{100}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (04)$$

Dónde:

M(t)	Mantenibilidad [%]
T	Tiempo total de estudio [Hrs]
$\mu$	Tasa de reparaciones (número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo) $\left[ \frac{\text{reparaciones}}{\text{Hr}} \right]$

Y se expresa:

$$\mu = \frac{1}{TPPR} \quad \dots \dots \dots (05)$$

Dónde:

TPPR	Tiempo promedio para reparar [Hrs]
------	------------------------------------

En la figura 01, se muestran los tiempos del mantenimiento: TPPR: Tiempo promedio para reparar y TPEF: Tiempo promedio entre fallas

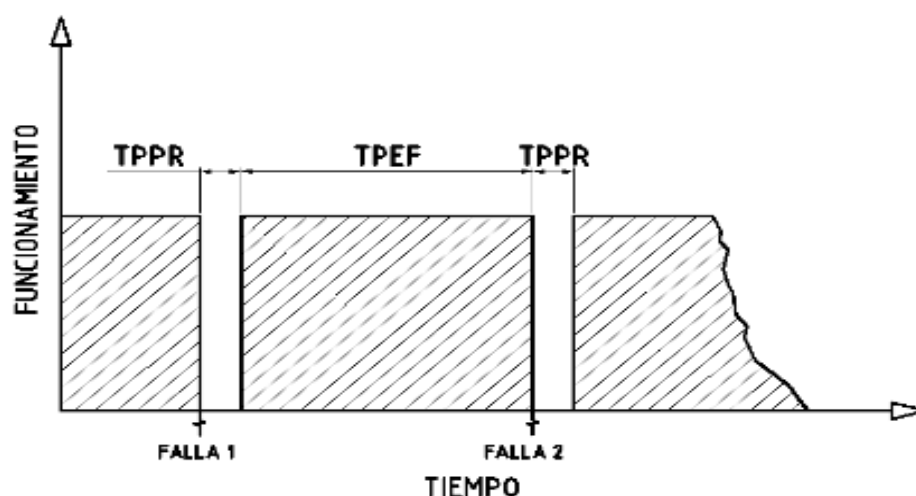


Figura 01. Tiempos del mantenimiento. Fuente: Corrales y ortega, 2009

- El ciclo PDCA: Planificar (Plan), Hacer (Do), Verificar (Check) y Actuar (Act), también conocido como ciclo de Deming en honor a su creador, Edwards Deming, constituye la columna vertebral de todos los procesos de mejora continua:

- Planificar: definir los objetivos y los medios para conseguirlos.
- Hacer: implementar la visión preestablecida.
- Verificar: comprobar que se alcanzan los objetivos previstos con los recursos asignados.
- Actuar: analizar y corregir las desviaciones detectadas así como proponer mejoras a los procesos utilizados. (<http://itilv3.osiatis.es/>)

Las fases del ciclo de vida del servicio son un reflejo de esta estructura básica:

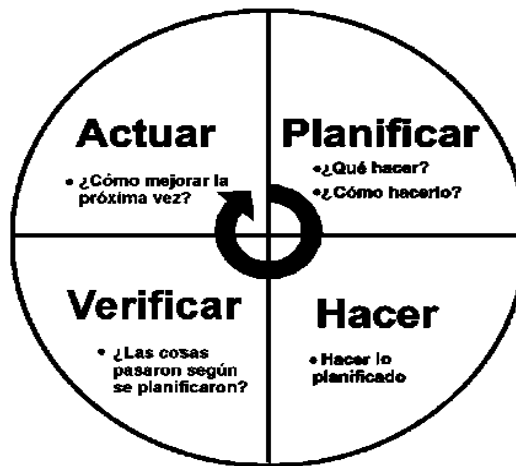


Figura 02: ciclo de Deming.

Fuente: <http://gestionxprocesoscun.blogspot.pe/>

#### • **Mantenimiento basado en el riesgo:**

Esta metodología se desarrolla en tres partes o módulos en la cual se tiene: la determinación del riesgo, que se basa en la identificación y estimación del riesgo; la evaluación del riesgo el cual permite los criterios de valoración para la comparación con los criterios de aceptación y por último la planeación del mantenimiento. (Moubray, 2004).

La ocurrencia de fallos inesperados, el tiempo de parada por avería, las pérdidas operacionales y los altos costos de mantenimiento son de la primordial preocupación para las industrias. El enfoque de mantenimiento basado en el riesgo complementa una estrategia alternativa para empujarse el impacto resultante de averías o fallas.

La metodología MBR está compuesto de cuatro etapas: identificación de la máquina y su estructura, determinación de los riesgos, evaluación de riesgos y programación del mantenimiento. La metodología, se basa en estimar el riesgo causado por una avería inesperada en función de la probabilidad y la consecuencia de la avería. Para ello se necesita determinar y clasificar los equipos críticos para realizar la respectiva ponderación del riesgo y poder llevarlo controladamente a un nivel aceptable. La

intervención de los equipos se realiza de acuerdo a la prioridad en tiempo, la cual determinara la confiabilidad del grupo de activos o equipos, lo que ayuda a minimizar el riesgo absoluto.

### • Análisis del Riesgo:

Después de haber identificado y clasificar los riesgos, se analiza cada uno de ellos, en otras palabras, se diagnostican la probabilidad y los efectos de cada de riesgo identificado con el objetivo de determinar la intensidad de riesgo de nuestro trabajo de investigación. (Améndola, 2002).

Determinación del índice de riesgo:

Se fundamenta (Moubray, 2004), según la formulación:

$$I(R) = G * O * D \quad \dots \dots \dots (06)$$

Donde:

I(R)	índice de riesgo de cada falla
G	índice de gravedad
O	índice de ocurrencia
D	índice de detección

Tabla 02: Categorías del índice de riesgo

$I(R) \leq 125$	Falla Aceptable.
$125 < I(R) \leq 200$	Falla reducible a deseable.
$I(R) > 200$	Falla Indeseable.

- Índice de gravedad (G): Evalúa la gravedad del efecto o consecuencia de que se produzca un determinado fallo para el equipo.

Tabla: 03.Gravedad

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Fuente: Moubray, 2004.

- Índice de Ocurrencia (O): Evalúa la probabilidad de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales.

Tabla: 04. Ocurrencia.

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Fuente: Moubray, 2004.

- Índice de Detección (D): Evalúa, para cada causa, la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante

Tabla: 05. Detección

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Moubray, 2004.

▪ **Análisis de Criticidad (EQUICRIT):**

La metodología de selección de equipos críticos conocida como EQUICRIT, la cual está constituida de factores ponderados desarrollados para establecer los sistemas y equipos críticos clasificados por sistemas, sub-sistemas y equipos para fines de la implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Esta metodología se basa en la elaboración de un cuestionario de evaluación de equipos organizado en sectores, factores y renglones, desarrollado en función del tipo de estudio y su alcance. Los sectores que abarca son: operaciones, protección integral, mantenimiento y tecnología. En la figura 08, muestra un ejemplo de esta metodología, la circunferencia ubicada en el extremo derecho muestra los factores que se consideraron de cada uno de los sectores (circunferencia extremo izquierdo) involucrados en el estudio, para la determinación de la criticidad de los sub-sistemas. En cada factor se definen renglones para ubicar un sub-sistema con respecto a un factor específico. (Helman, 1995).

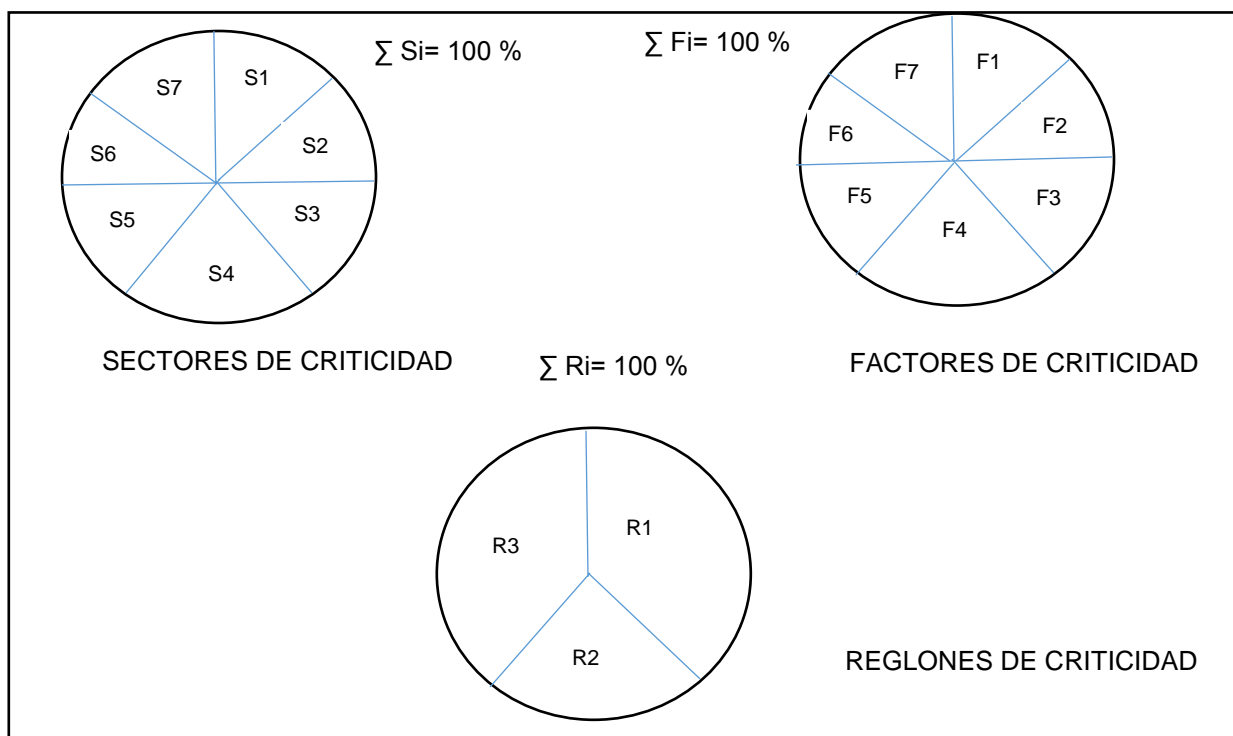


Figura 03. Metodología de selección de equipos críticos Fuente:  
<http://ri.bib.udo.edu.ve/>

A continuación, se presenta el cuestionario:

#### SECTOR 1: Operaciones / Procesos

F.1	Frecuencia de Fallas
R1	Solo paradas programadas
R2	No aplica
R3	Alta Frecuencia

F.2	Impacto de la parada del equipo en las operaciones (referido a la producción)
R1	No afecta
R2	Requiere disminuir carga / degrada producto / afecta el valor agregado
R3	Detiene la producción de secciones o de toda la planta

F.3	Flexibilidad operacional
R1	Flexible, puede adaptarse a cambios en las condiciones de operación
R2	Puede aceptar cambios en las condiciones de operación, pero afecta a la eficiencia del proceso
R3	No es flexible

F.4	Equipo alternativo
R1	Tiene equipo alternativo
R2	Tiene equipo alternativo, pero de insuficiente capacidad
R3	No tiene equipo alternativo

F.5	Complejidad de operación
R1	Operación simple
R2	Mediana Complejidad
R3	Operación compleja

F.6	Grado de automatización y control
R1	Posee el mínimo requerido según normas
R2	Posee instrumentos de medición y control, pero no cumple el mínimo requerido por las normas
R3	No posee instrumentos o los instrumentos asociados al equipo no son suficientes para detectar que está perdiendo su función

## SECTOR 2: Protección integral.

F.1	Consecuencias de un accidente causado por el equipo
R1	No afecta al personal/ planta/ producción/ medio ambiente
R2	Solo afecta a la producción
R3	Afecta al personal/ planta/ producción/ medio ambiente



F.2	Magnitud de riesgos según condiciones de operación
R1	Bajo riesgo por presión, temperatura, toxicidad, o inflamabilidad del fluido
R2	Moderado riesgo: alta presión o temperatura, temperaturas criogénicas, fluido tóxico o inflamable o con bajo punto de ebullición
R3	Alto riesgo: alta presión y temperatura, fluido tóxico, inflamable y con bajo punto de ebullición

F.3	Riesgos de operación por presencia de defectos y/o grietas
R1	No presenta defectos y/o grietas, según los resultados de inspecciones
R2	Posee defectos y/o grietas que se han reparado punto de ebullición
R3	Funciona con defectos y/o grietas que no se han reparado, fluido tóxico, inflamable y con bajo punto de ebullición

F.4	Adecuación de los sistemas de producción
R1	Adecuados – vigentes
R2	Disponibles, pero deben ser mejorados
R3	No adecuados – no tiene

**SECTOR 3: Mantenimiento.**

F.1	Disponibilidad de repuestos para reparaciones
R1	Partes de repuestos disponibles como pieza estándar en almacenes de materiales/ taller de la filial/ proveedor local/ contratista
R2	Requiere la fabricación de piezas de repuesto en taller de la filial/ proveedor local/ contratista
R3	Requiere la fabricación de piezas de repuesto en el exterior

F.2	Intercambiabilidad de equipos/ partes
R1	Puede ser intercambiado completamente sin cambios y/o puede intercambiar partes con otros equipos, o no aplica
R2	No evaluado
R3	No es intercambiable (equipos / partes)

F.3	Complejidad tecnológica para el mantenimiento
R1	Requiere personal propio, no requiere equipos/ herramientas especiales
R2	Requiere personal calificado y/o equipos/ herramientas especiales disponibles a nivel nacional
R3	Requiere personal especializado y/o equipos/ herramientas especiales foráneos

F.4	Frecuencia de mantenimiento requerido
R1	Baja (ejecución esporádica o programada)
R2	Media
R3	Altas (acciones de mantenimiento continuas)

F.5	Costos de mantenimiento
R1	Esperados (según presupuesto programado)
R2	Medianos (desviaciones = 10% del presupuesto programado)
R3	Altas (desviación > 10% del presupuesto programado)

#### SECTOR 4: Vigencia tecnológica.

F.1	Vigencia Tecnológica
R1	Alta (tecnología vigente)
R2	Media (existe en el mercado tecnología mejorada y/o no está en línea con políticas de estandarización)
R3	Baja (requiere reemplazo a corto/ mediano por tecnología mejorada)

F.2	Tiempo en servicio
R1	Menor de 10 años
R2	Entre 10 y 30 años
R3	Mayor a 30 años

Para obtener los valores del factor de criticidad se consideran las ponderaciones que se muestran en las tablas 06 (Ponderación de renglones) y 07 (Ponderación de sectores y factores), estos valores son preestablecidos por el EQUICRIT.

Tabla 06. Ponderacion de Renglones

REGLONES	PONDERACIÓN
R1	10
R2	30
R3	60
TOTAL	100

Fuente: <http://ri.bib.udo.edu.ve/>

Tabla 07. Ponderación de sectores y factores

SECTOR	PONDERACIÓN (%)							TOTAL
	(%)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
<b>Operaciones / Procesos</b>	30%	13	18	21	23	10	15	100
<b>Protección Integral</b>	15%	50	10	20	20			100
<b>Mantenimiento</b>	22%	40	10	10	20	20		100
<b>Vigencia</b>	33%	75	25					100

Fuente: <http://ri.bib.udo.edu.ve/>

Donde, la criticidad se calcula según la fórmula:

$$C = \%Sectores * \sum (\%Factores * \%Reglones) \dots \dots \dots (07)$$

Considerando: Critico  $C > 0.37$ ; Semi-Critico  $0.27 < C < 0.37$  y No critico  $C < 0.27$

• **Mantenimiento centrado en la confiabilidad:**

A partir del concepto de anticiparse al futuro, se han creado nuevas disciplinas del mantenimiento que recientemente buscan protocolizarse y normalizarse dentro de un esquema denominado Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM,

El RCM es un conjunto de procedimientos sistemáticos para:

- Prever futuros indeseables en la funcionalidad de los procesos productivos (fallas funcionales).
- Determinar las consecuencias y el impacto de las fallas.
- Conducir a la determinación y programación de tareas predictivas (detección oportuna de fallas potenciales) y proactivas (acciones antes de la falla). (Moubray, 2004).

- Metodología para la implementación del RCM según las normas SAE JA 1011, SAE JA 1012.

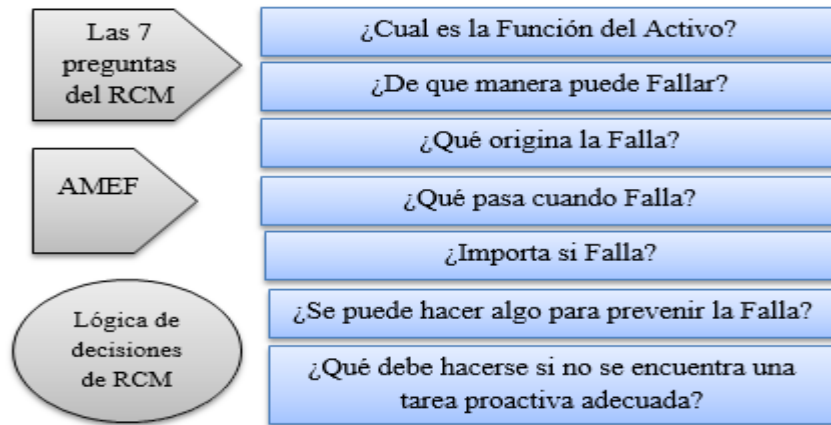


Figura 04: Las 7 preguntas del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Fuente: Moubray, 2004.

• **Herramientas para la aplicación de un sistema de gestión de mantenimiento:**

- El AMEF (análisis de modo de fallas y efectos de fallos) y el árbol lógico de decisión, constituyen las herramientas fundamentales que utiliza el RCM que responderán las siete preguntas primordiales: (Moubray, 2004). Herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.

✓ Hojas de información: Previamente al desarrollo de la hoja de decisiones estratificamos la referencia de información para poder establecer las tareas propuestas mediante las hojas de información.

Tabla 08: Ejemplo de una hoja de información. Fuente: Da Costa, 2010.

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX					
Sistema: Encendido					
Pieza		Función que desempeña (F)		Modo de fallo funcional (FF)	Causas Potenciales de fallo (FM)
Bujía	1	Genera la chispa de encendido del motor	A	Golpeteo del motor	1 Suciedad
					2 Exesivo entrehierro
			B	No hay chispa	1 Desgaste
			C	Ruido	1 Suciedad
			D	Oscilaciones	1 Exesivo entrehierro
Magneto	2	Genera la corriente que se suministra a la bujía	E	Disminución de rpm	1 Contaminación con grasa
			A	No hay chispa	1 corto circuito
			B	Masa hace tierra	1 Cable suelto
Bobina	3	Envía corriente a la bujía	C	Golpeteo del motor	1 magneto con suciedad
					1 cable roto
			A	No hay chispa	2 Pérdida de carga

✓ Hojas de decisión: Es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las consecuencias y las tareas, y es en esta etapa en la que podremos responder a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada?

En la siguiente imagen se muestra la hoja de decisiones, el cual es uno de los documentos centrales utilizados en la metodología.

Tabla 09: Ejemplo de una hoja de decisión de RCM. Fuente: Da Costa, 2010.

HOJA DE DECISIONES			Sistema:										Facilitador:				Fecha:	Hoja N° 1	
			Subsistema:										Auditor				Fecha:	de:	
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea Propuesta				Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3										
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4							
							N1	N2	N3										

✓ Árbol lógico de decisiones: Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM.

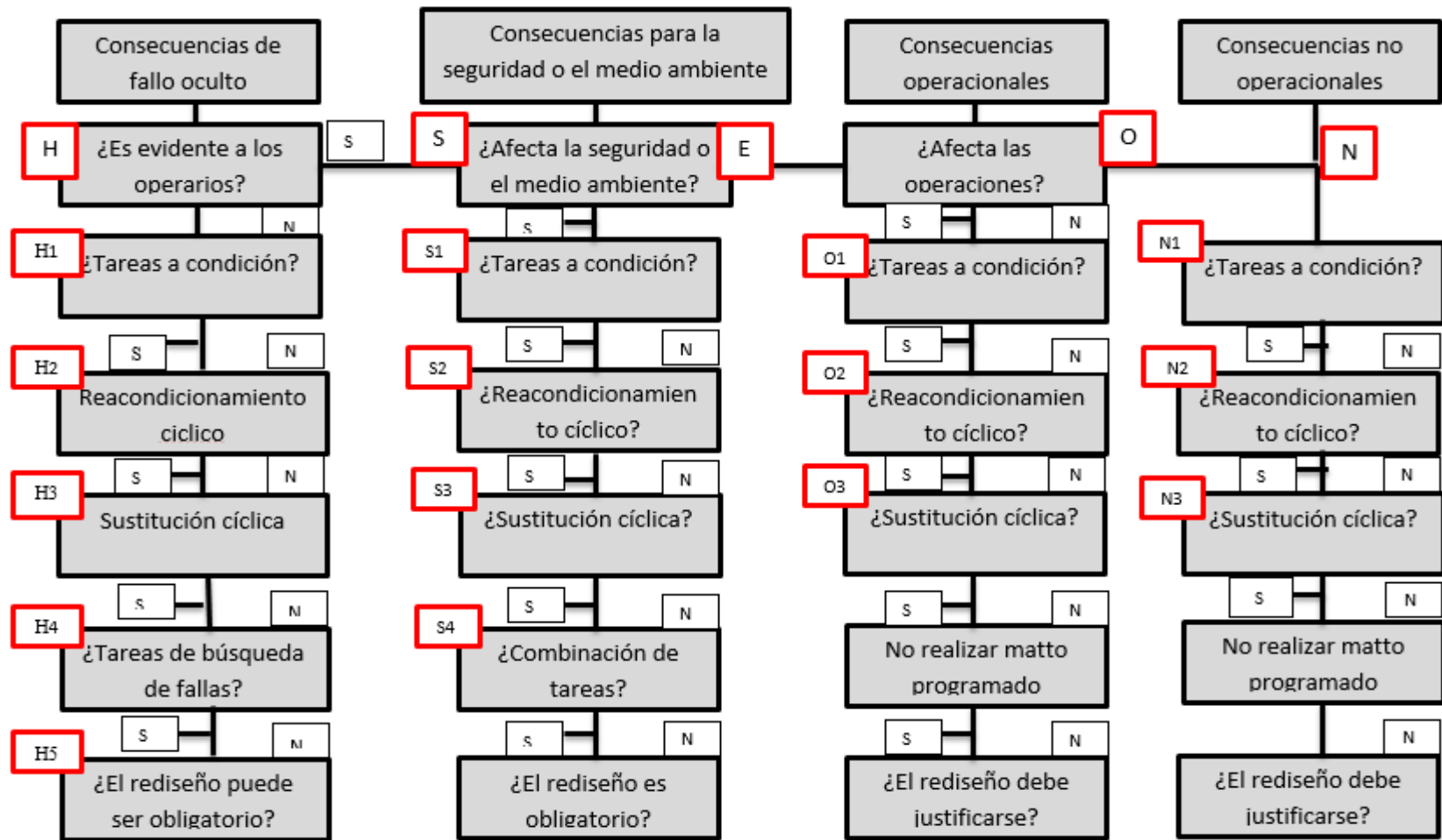


Figura 05: Árbol lógico decisiones. Fuente: Moubray, 2004



## • **Mantenimiento productivo total**

El Mantenimiento Productivo Total (MPT) es un sistema de gestión que evita todo tipo de pérdidas durante la vida entera del sistema de producción, maximizando su eficacia e involucrando a todos los departamentos y a todo el personal desde operadores hasta la alta dirección, y orientando sus acciones apoyándose en las actividades en pequeños grupos, (<http://www.biblioteca.udep.edu.pe/>).

- Beneficios del MPT

❖ Beneficios con respecto a la productividad:

- ✓ Elimina pérdidas que afectan la productividad de las plantas.
- ✓ Mejora de la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- ✓ Reducción de los costes de mantenimiento.
- ✓ Mejora de la calidad del producto final.
- ✓ Menor coste financiero por recambios.
- ✓ Mejora de la tecnología de la empresa.
- ✓ Aumento de la capacidad de respuesta a los movimientos del mercado.
- ✓ Crea capacidades competitivas desde la fábrica.

## • **Mantenimiento Correctivo:**

Es una actividad que se ejecuta después de haber ocurrido el daño o falla. La finalidad de este tipo de acción es llevar a las máquinas o equipos a su estado operativo, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste daños o roturas, (Ávila, 1992).

- Mantenimiento correctivo programado:

Se basa en realizar las reparaciones sólo cuando se cuenta con todos los elementos indicados (personal, herramientas, información) y de tal forma que la interrupción del proceso productivo no tenga graves consecuencias.

- **Mantenimiento Preventivo:**

Es un tipo de mantenimiento que ayuda a prevenir las averías o fallas cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y al historial de falla de los equipos, (Ávila, 1992).

- **Mantenimiento Predictivo:**

Es una actividad que consiste en el seguimiento organizado con medición periódica o continua de variables de estado en un sistema, máquina o equipo y su comparación con patrones preestablecidos, para la determinación del instante en que se debe producir la intervención de mantenimiento, con el fin de corregir las fallas a tiempo y evitar detención de la producción, (Ávila, 1992).

- **Retorno operacional de la inversión:**

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial, (Sowell, 2013).

$$PRI = \frac{I \text{ [S./]}}{B \left[ \frac{\text{S./}}{\text{año}} \right]}$$

Dónde:

<b>I</b>	<b>Inversión para la ejecución del proyecto</b>
<b>B</b>	<b>Beneficio logrado por el proyecto</b>

- **Productividad:**

Según una definición general, la productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. Así pues, la productividad se define como el uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios. Una productividad mayor significa la obtención de más con la misma cantidad de recursos, o el logro de una mayor producción en volumen y calidad con el mismo insumo. Esto se suele representar con la fórmula:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}}$$

La productividad también puede definirse como la relación entre los resultados y el tiempo que lleva conseguirlos. El tiempo es a menudo un buen denominador, puesto que es una medida universal y está fuera del control humano. Cuanto menor tiempo lleve lograr el resultado deseado, más productivo es el sistema. Independientemente del tipo de sistema de producción, económico o político, la definición de productividad sigue siendo la misma. Por consiguiente, aunque la productividad puede significar cosas diferentes para diferentes personas, el concepto básico es siempre la relación entre la cantidad y calidad de bienes o servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados para producirlos. La productividad es un instrumento comparativo para gerentes y directores de empresa, ingenieros industriales, economistas y políticos. Compara la producción en diferentes niveles del sistema económico (individual, y en el taller, la organización, el sector o el país) con los recursos consumidos. A veces la productividad se considera como un uso más intensivo de recursos, como la mano de obra y las máquinas, que debería indicar de manera fidedigna el rendimiento o la eficiencia, si se mide con precisión.

En general, la productividad podría considerarse como una medida global de la forma en que las organizaciones satisfacen los criterios siguientes:

- **Objetivos:** medida en que se alcanzan.

- Eficiencia: grado de eficacia con que se utilizan los recursos para crear un producto útil.
- Eficacia: resultado logrado en comparación con el resultado posible.
- Comparabilidad: forma de registro del desempeño de la productividad a lo largo del tiempo. (Joseph Prokopenko.1996).

#### **1.4. Formulación del problema:**

¿En qué medida el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial De Moyobamba aumentará su disponibilidad y reducir los retrasos de la producción?

#### **1.5. Justificación**

##### **1.5.A. Relevancia económica:**

El diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la MPM, permitirá reducir los costos en alquiler de maquinaria a empresas privadas y disminuir los costos en reparaciones.

##### **1.5.B. Relevancia tecnológica:**

La aplicación de mantenimientos avanzados como el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el MBR aplicado a maquinaria pesada, permitirá conocer nuevas metodologías del mantenimiento como el análisis causa raíz y AMEF. Logrando que la MPM sea una institución eficiente con respecto al fortalecimiento de su pool de maquinaria pesada frente a otras instituciones del estado.

##### **1.5.C. Relevancia institucional:**

El estudio de sistemas de gestión de mantenimiento presentado como estudio de tesis, permite al alumno de la escuela de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Cesar Vallejo, aprender y relacionarse con el entorno laboral que le tocara enfrentar.

#### **1.5.D. Relevancia socio-ambiental:**

La aplicación correcta de un plan de mantenimiento a la maquinaria pesada, aumentará la vida de sus componentes por lo que se reducirá la masa de hierro evacuada a la atmosfera, contribuyendo al impacto ambiental.

#### **1.6. Hipótesis**

El diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial De Moyobamba, aumentará su disponibilidad y reducirá los retrasos de la producción.

#### **1.7. Objetivos**

##### **1.7.A. Objetivo general:**

Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba para aumentar su disponibilidad y reducir los retrasos de la producción.

##### **1.7.B. Objetivos específicos:**

- ✓ Evaluar la situación actual del mantenimiento del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba; determinando los valores porcentuales de los indicadores de mantenimiento.
- ✓ Diseñar el sistema en base al MBR para la aplicación en la maquinaria crítica, estableciendo formatos y tablas AMEF.
- ✓ Proyectar, mediante análisis, el comportamiento de fallas y número de prioridad de riesgos.
- ✓ Determinar los indicadores de mantenimiento post – diseño para compararlas con las de la evaluación inicial.

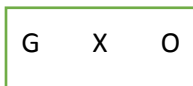
- ✓ Presentar una propuesta en mejora y programa para su implementación.
- ✓ Proyectar un análisis económico en: costos de activos fijos, beneficio útil logrado Y PRI, con la implementación del diseño de un sistema de gestión de mantenimiento.

## II. MÉTODOLOGIA

**Método:** Cuantitativo.

**Diseño:** Pre Experimenta.

**Esquema:**



Donde:

G= Grupo de sujeto

X= Tratamiento

O= Medición de los sujetos de un grup

## Diseño de investigación: Pre-Experimental

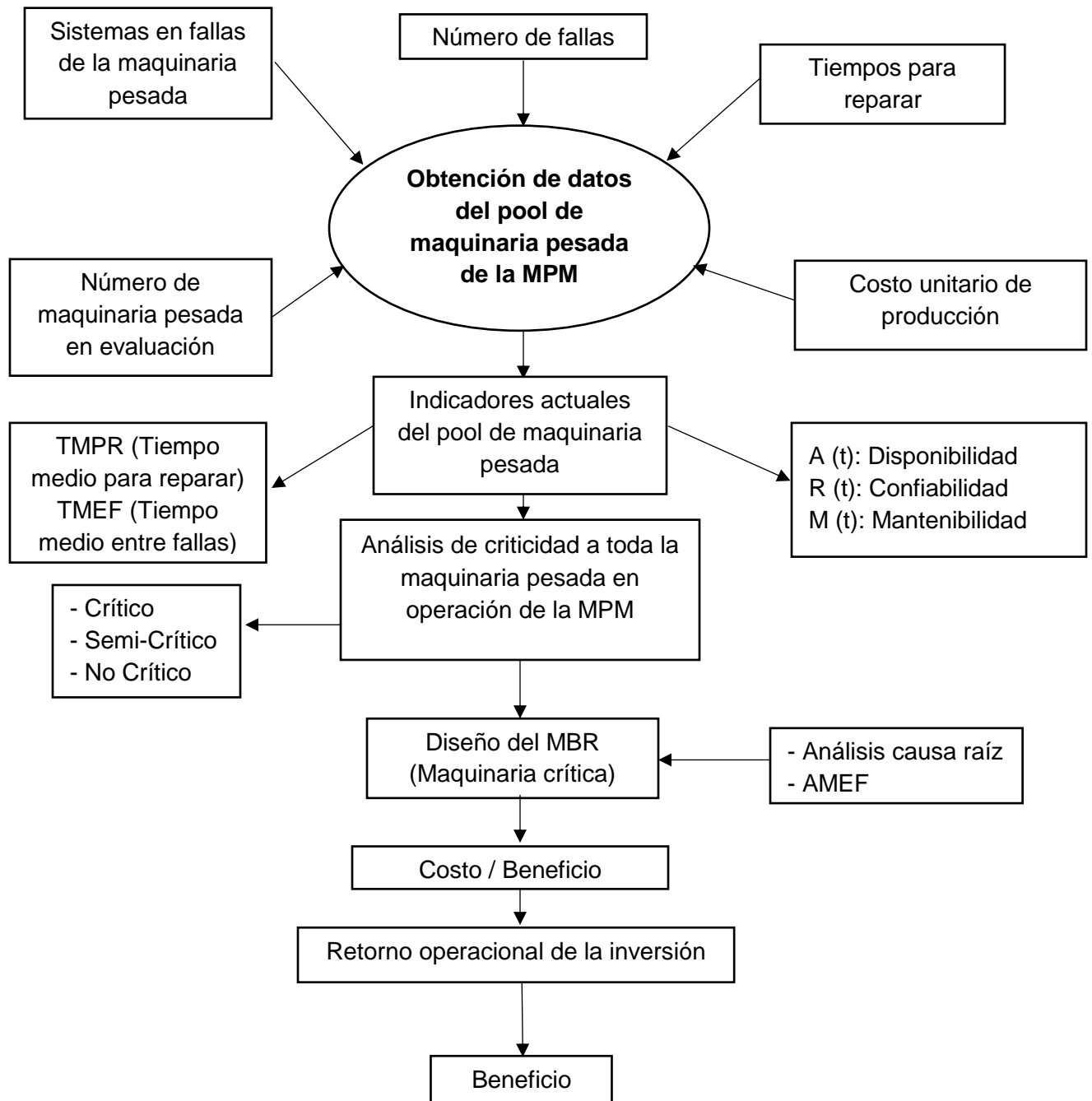


Figura 06. Metodología para el diseño de investigación

## **2.2. Variables, Operacionalización**

### **Variables independientes:**

- Sistema de gestión de mantenimiento basado en el MBR

### **Variables dependientes:**

- Indicadores de mantenimiento.
  - ✓ Disponibilidad mecánica
  - ✓ Confiabilidad operacional
  - ✓ Mantenibilidad
- Costos de producción.
  - ✓ Costos de mantenimiento y costos para producir.
- Retorno operacional de la inversión.
  - ✓ Inversión en activos fijos.
  - ✓ Beneficios económicos.



## Operacionalización de variables:

Tabla 10: Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable	Indicador	Definición de Conceptual	Definición operacional	Escala de medición
Sistema de gestión de mantenimiento	MBR	Permite identificar los equipos que más influyen en el riesgo de una empresa al objeto de focalizar en ellos los esfuerzos de inspección, y definir un plan óptimo de inspección, en función de su influencia en el riesgo, determinándose el alcance, la periodicidad y la técnica de mantenimiento.	AMEF (hojas de información y hojas de decisiones).	Cualitativa
Indicadores del mantenimiento	Disponibilidad	Se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir.	$\frac{TPEF}{TPEF + TPPR}$	Cuantitativa (%)
	Confiabilidad	Probabilidad de que un equipo u/o máquina pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas	$\frac{-\lambda \cdot T}{e^{100}}$	Cuantitativa (%)
	Mantenibilidad	La probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo.	$1 - e^{\frac{-\mu \cdot T}{100}}$	Cuantitativa (%)
Costos de producción	Costos de mantenimiento y costos para producir	Es la reducción de los costos por la aplicación del mantenimiento basado en el riesgo, logrando aumentar la disponibilidad.	$C = C_{\text{actuales}} - C_{\text{mejora}}$	Cuantitativa (S./año)
Retorno operacional de la inversión	inversión y beneficio	Es la razón de las utilidades netas a los activos totales de la empresa.	$\frac{I}{C}$	Cuantitativa (años)

### 2.3. Población y muestra

**Población:**

Maquinaria de la Municipalidad Provincial de Moyobamba.

**Muestra:**

Poblacional.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Ficha de registro

### 2.5. Métodos de análisis de datos

Con los datos obtenidos de las técnicas e instrumentos de recolección, que se toman a diario, indicarán que componentes o partes de la maquinaria pesada están presentando fallas, cuanto se está demorando en ejecutar el mantenimiento solicitado, todo esto sirve para el planeamiento y programación de los trabajos de mantenimiento en hojas de información y hojas de decisiones del AMEF.

Se calculará la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de la maquinaria pesada en función de las horas programadas y de las horas muertas por falla. Se espera que con la implementación del sistema de gestión de mantenimiento basado en el MBR, el índice de disponibilidad aumente, reduciendo los costos y el retraso de producción.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Definición de la situación actual del mantenimiento del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba

##### a) Determinación de los valores porcentuales de los indicadores de mantenimiento

##### a.1) Determinación de los indicadores de mantenimiento de los volquetes

En la figura 07, se detallan los resultados obtenidos en las fichas de registro, en la cual se establecen los tiempos programados de los volquetes.

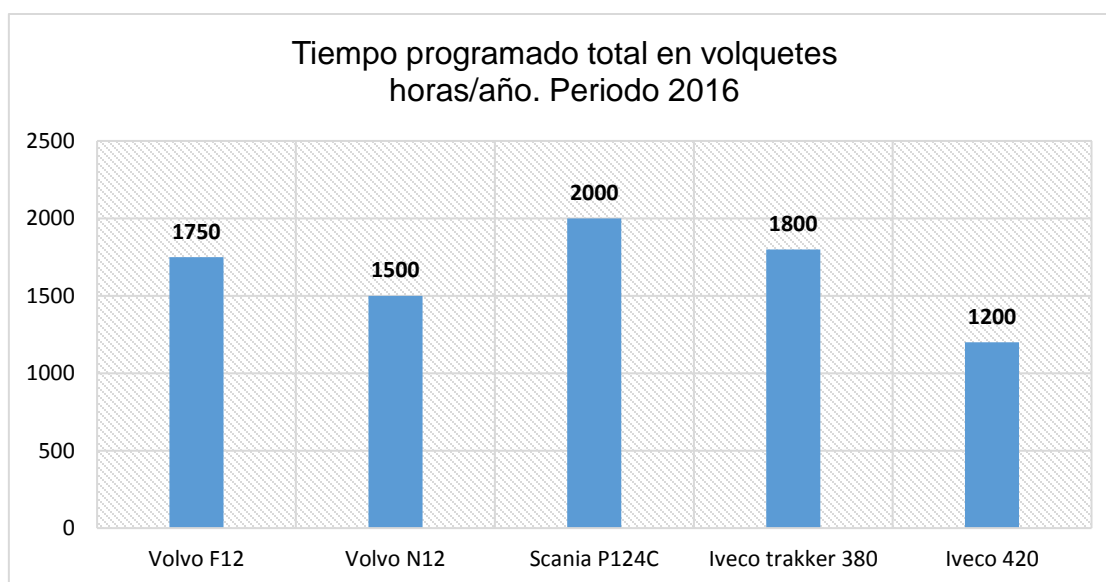


Figura 07: Tiempos programa total en volquetes

En la figura 08, se detallan los resultados obtenidos en las fichas de registro, en la cual se establecen los tiempos para reparar por cada volquete.

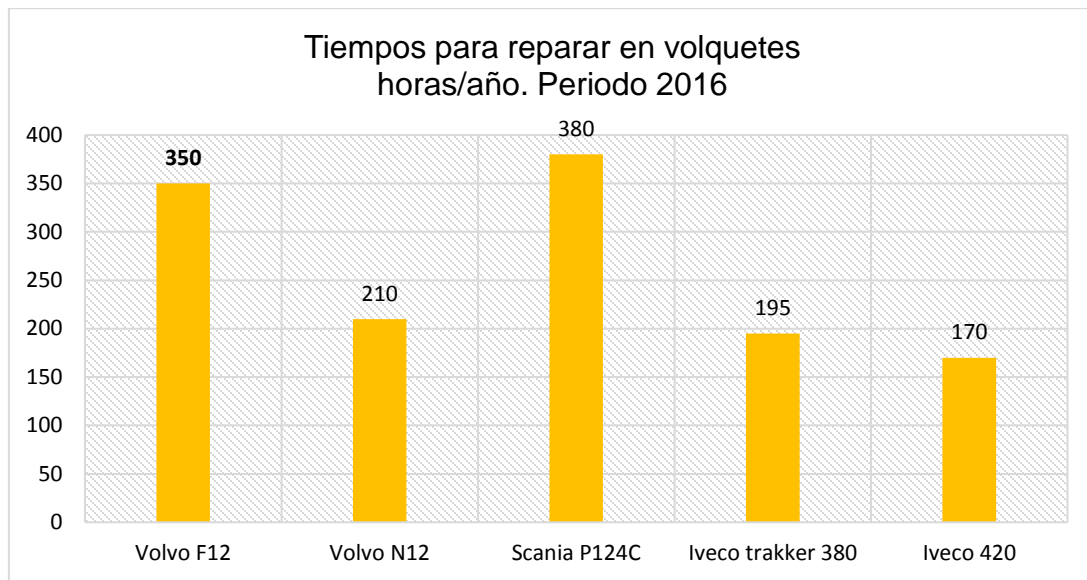


Figura 08: Tiempos para reparar en volquetes

En la figura 09, se detallan los resultados del tiempo útil trabajado o tiempo entre fallas por cada volquete.

- Análisis para el volvo F12:

Se tiene:

$$TEF = TP - TPR$$

$$TEF = 1750 \text{ horas/año} - 350 \text{ horas/año}$$

$$TEF = 1400 \text{ horas/año}$$

Resultado que expresa que el volvo F12, solo trabajo 1400 horas/año, de las 1750 horas/año destinadas a trabajar, debido a las fallas provocadas en los sistemas de los activos, generando 350 horas/año perdidas por reparaciones.

Utilizando la misma metodología, se muestran los resultados en la figura en mención 09.

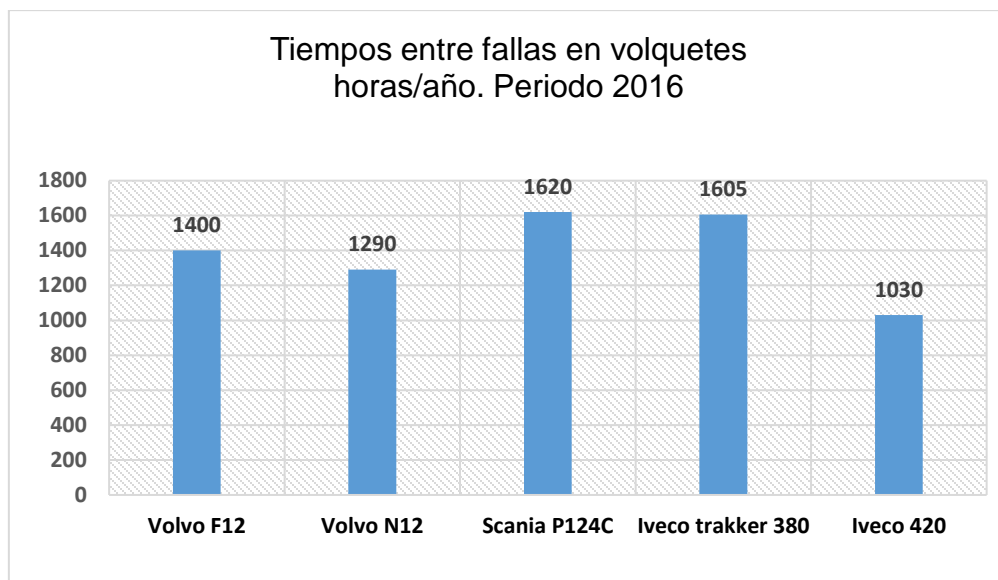


Figura 09: Tiempos entre fallas en volquetes

En la figura 10, se detallan los resultados obtenidos en las fichas de registro, en la cual se establecen las frecuencias de fallas por cada volquete.

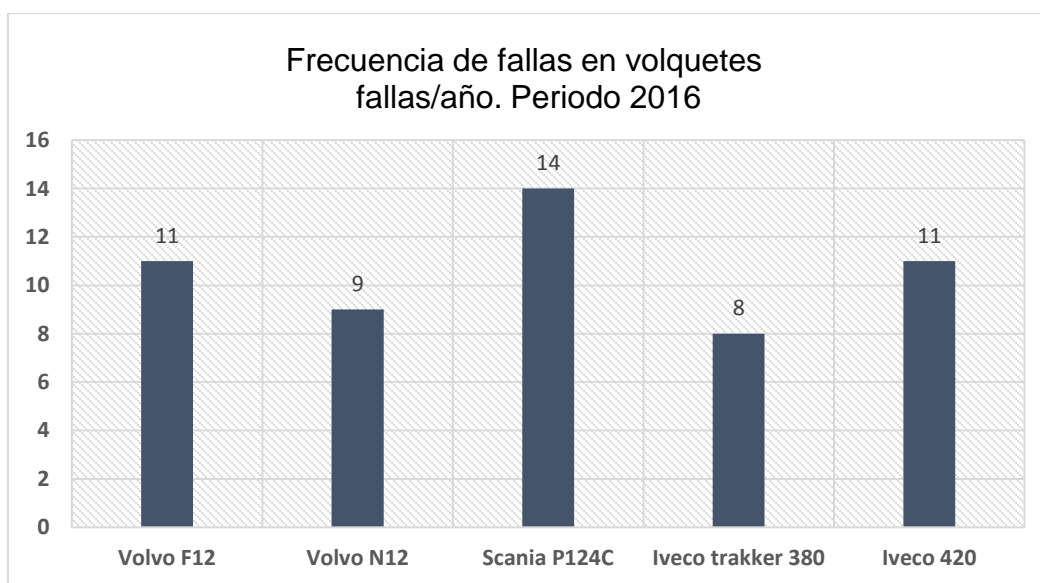


Figura 10: Frecuencia de fallas en volquetes

En la figura 11, se muestran los tiempos promedios entre fallas ocurridos en los volquetes.

- Análisis para el volvo F12:

Se tiene:

$$TPEF = TEF/n$$

$$TPEF = (1400 \text{ horas/año}) / (11 \text{ fallas/año})$$

$$TPEF = 127.273 \text{ horas útiles/falla}$$

Utilizando la misma metodología, se muestran los resultados en la figura en mención 11.

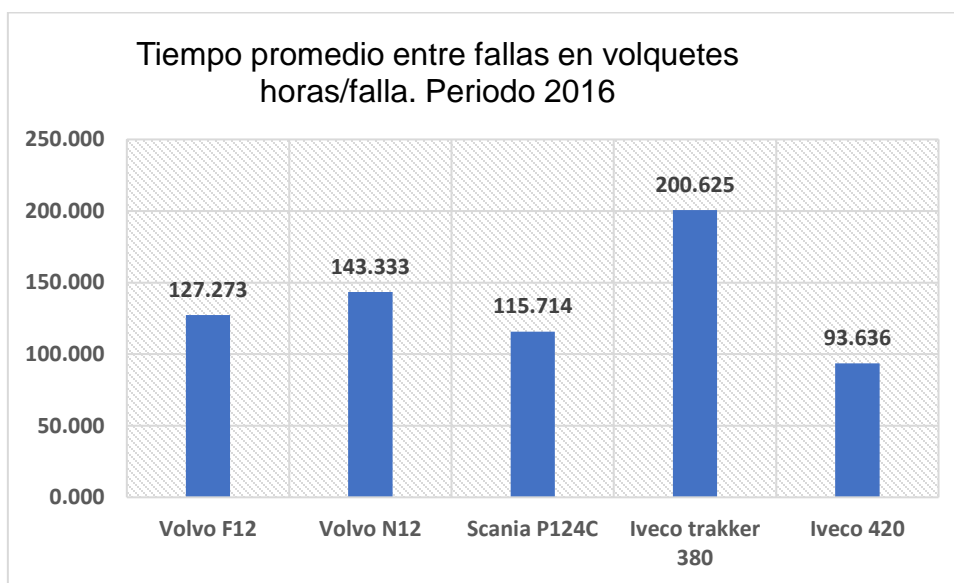


Figura 11: TPEF en volquetes

En la figura 12, se muestran los tiempos promedios para reparar las diferentes fallas ocurridas en los volquetes.

- Análisis para el volvo F12:

Se tiene:

$$TPPR = TPR/n$$

$$TPPR = (350 \text{ horas/año}) / (11 \text{ fallas/año})$$

$$TPPR = 31.8182 \text{ horas de reparación/falla}$$

Utilizando la misma metodología, se muestran los resultados en la figura en mención 12.

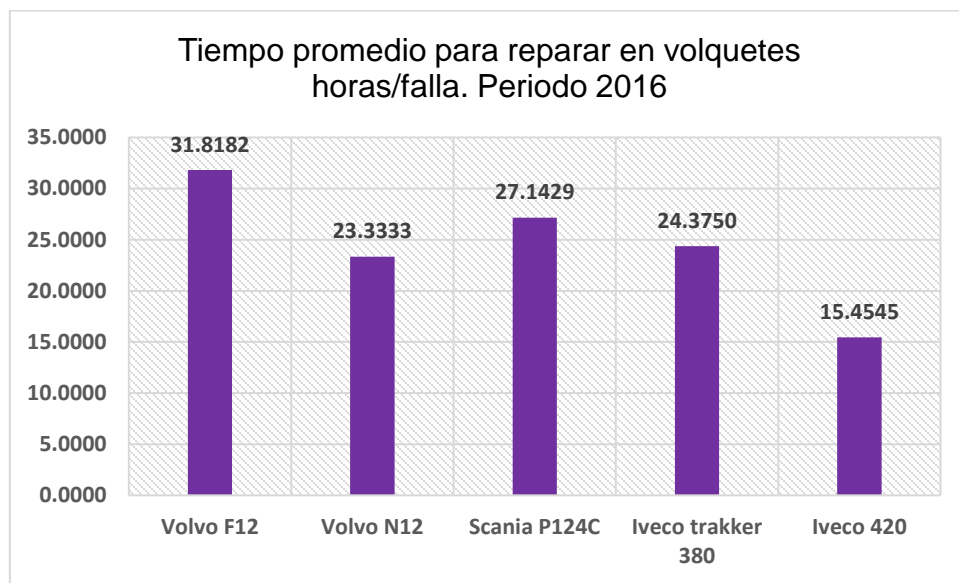


Figura 12: TPPR en volquetes

En la figura 13, se detallan las tasas de fallas a la cual están expuestos los volquetes, debido a los actuales planes de mantenimiento.

- Análisis para el volvo F12:

Se tiene:

$$\lambda = 1/\text{TPEF}$$

$$\lambda = 1/127.273 \text{ horas útiles/falla}$$

$$\lambda = 0.0079 \text{ fallas/ horas útiles}$$

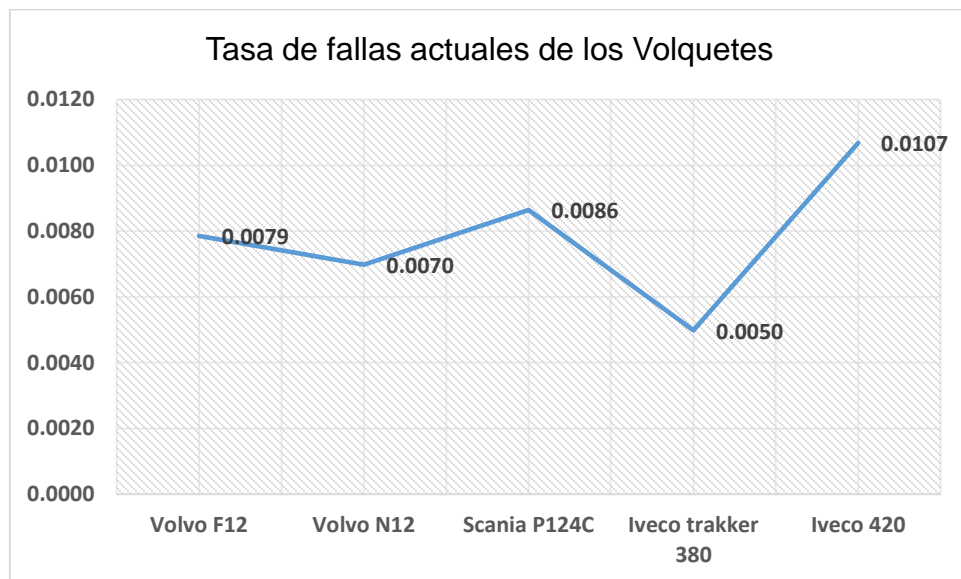


Figura 13: tasa de fallas en volquetes



En la figura 14, se detallan las tasas de fallas a la cual están expuestos los volquetes, debido a los actuales planes de mantenimiento.

- Análisis para el volvo F12:

Se tiene:

$$\mu = 1/TPPR$$

$$\mu = 1/31.8182 \text{ horas de reparación/falla}$$

$$\mu = 0.03143 \text{ fallas/ horas de reparación}$$

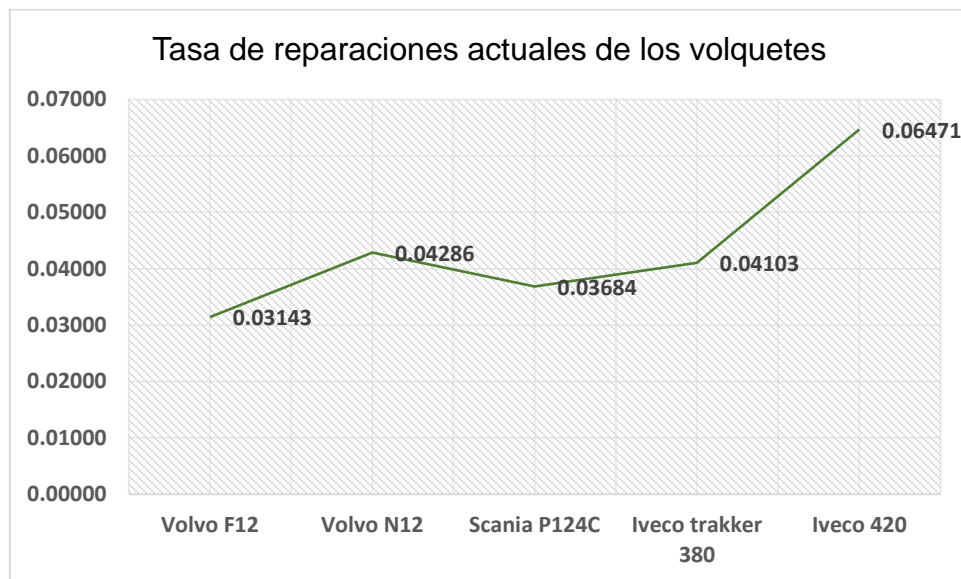


Figura 14: tasa de reparaciones en volquetes

Finalmente, determinamos los indicadores de mantenimiento de los volquetes

**- Disponibilidad:**

Análisis para el volvo F12:

$$A(t) = \left( \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \right) * 100\%$$

$$A(t) = \left( \frac{127.273}{127.273 + 31.8182} \right) * 100\%$$

$$D(t) = 80\%$$

**- Confiabilidad:**

Análisis para el volvo F12:

$$R(t) = \left( e^{\frac{-\lambda * TP}{100}} \right) * 100\%$$

$$R(t) = \left( e^{\frac{-0.0079 * 1750}{100}} \right) * 100\%$$

$$R(t) = 87.15\%$$

**- Mantenibilidad:**

Análisis para el volvo F12:

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu * TP}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-0.03143 * 1750}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 42.31\%$$

Utilizando el mismo procedimiento para la evaluación de los indicadores de mantenimiento de los demás volquetes, se obtuvieron los siguientes resultados, mostrados en la figura 15.

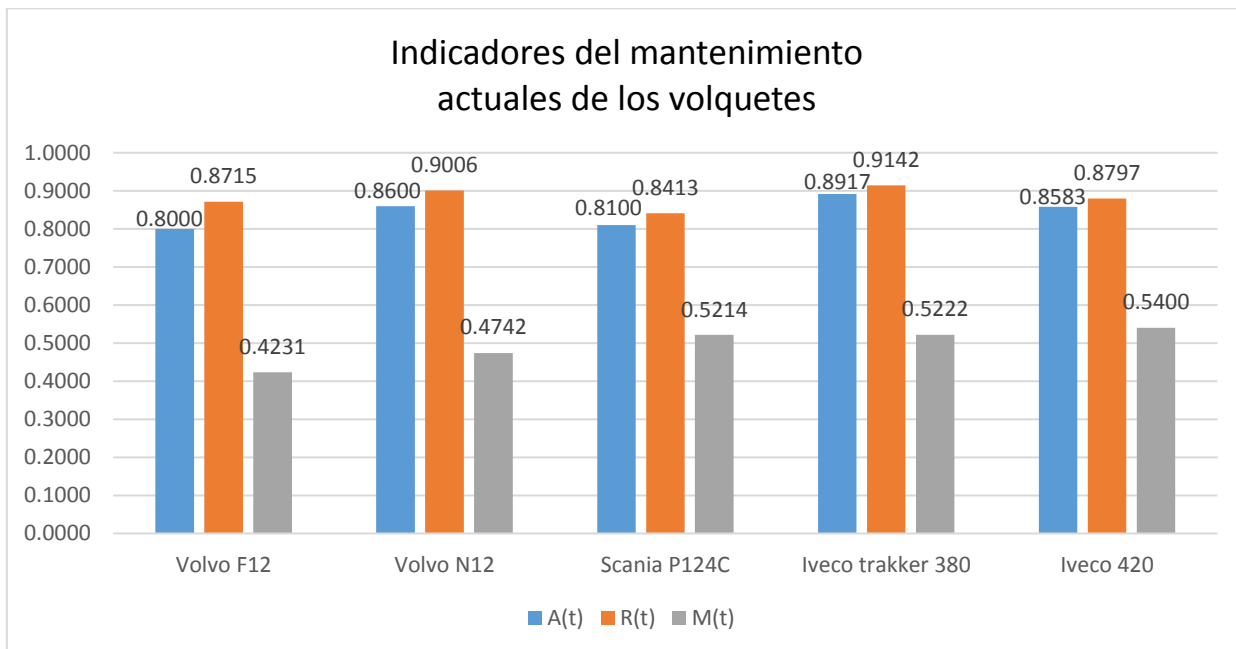


Figura 15: Indicadores actuales de los volquete

**b) Determinación de los indicadores de mantenimiento de las excavadoras, motoniveladoras, cargadores frontal, rodillos compactadores, tractor oruga y retroexcavadora de martillo.**

Tal como se determinaron los indicadores de mantenimiento para los diferentes volquetes, se realiza el mismo procedimiento, para la maquinaria restante. Obteniendo los siguientes resultados, tal como se muestran en la tabla 11

Tabla 11: Resultados de los indicadores actuales

Maquinaria Pesada de la MPM	TP h/a ño	TPR h/a ño	TEF h/a ño	Fallas as 2016	TPEF h/falla a	TPPR h/falla a	T.F Falla /h	T.R Falla /h	A(t)	R(t)	M(t)
Excavadora Caterpillar 330 DL	100 0	150	850	13	65.38 5	11.53 85	0.01 53	0.086 67	85.0 0%	85.8 2%	57.9 6%
Excavadora New Holland E215C	150 0	310	119 0	15	79.33 3	20.66 67	0.01 26	0.048 39	79.3 3%	82.7 7%	51.6 1%
Motoniveladora Komatsu GD511A	800	170	630	12	52.50 0	14.16 67	0.01 90	0.070 59	78.7 5%	85.8 7%	43.1 5%
Motoniveladora Caterpillar 120H	500	110	390	16	24.37 5	6.875 0	0.04 10	0.145 45	78.0 0%	81.4 5%	51.6 8%
Cargador frontal Komatsu WA 320	170 0	320	138 0	11	125.4 55	29.09 09	0.00 80	0.034 38	81.1 8%	87.3 3%	44.2 5%
Cargador frontal Komatsu WA 180	120 0	220	980	15	65.33 3	14.66 67	0.01 53	0.068 18	81.6 7%	83.2 2%	55.8 8%
Rodillo compactador Caterpillar CS533E	700	130	570	8	71.25 0	16.25 00	0.01 40	0.061 54	81.4 3%	90.6 4%	35.0 0%

Rodillo compactador Caterpillar CS-663EFV	800	150	650	6	108.3 33	25.00 00	0.00 92	0.040 00	81.2 5%	92.8 8%	27.3 9%
Tractor Oruga Caterpillar bulldozer D8R	182 5	410	141 5	11	128.6 36	37.27 27	0.00 78	0.026 83	77.5 3%	86.7 7%	38.7 1%
Retroexcavadora de martillo Komatsu WB 93 R	650	120	530	9	58.88 9	13.33 33	0.01 70	0.075 00	81.5 4%	89.5 5%	38.5 8%

3.2. Evaluación de la maquinaria pesada, mediante el análisis de criticidad de equipos.

### 3.2.1. Análisis de criticidad al sistema de lubricación

Tabla 12. Sistema de lubricación

SECTORES	FACTOR DE CRITICIDAD - LUBRICACIÓN						%Sector* $\sum$ (%Factor*%Renglon)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Operaciones/ Procesos	60	60	60	60	60	10	0.1575
Protección Integral	60	60	30	10			0.066
Mantenimiento	60	10	60	60	60		0.121
Vigencia tecnológica	10	10					0.033
Valor Critico							<b>0.3775</b>

### 3.2.2. Análisis de criticidad al -sistema de enfriamiento

Tabla 13. Sistema de enfriamiento

SECTORES	FACTOR DE CRITICIDAD - ENFRIAMIENTO						%Sector* $\Sigma$ (%Factor*%Renglo n)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Operaciones/ Procesos	60	30	60	60	10	30	0.1353
Protección Integral	30	30	60	30			0.054
Mantenimiento	60	60	30	30	30		0.099
Vigencia tecnológica	30	10					0.0825
Valor Critico							<b>0.3708</b>

### 3.2.3. Análisis de criticidad al sistema de combustible

Tabla 14. Sistema de combustible

SECTORES	FACTOR DE CRITICIDAD - COMBUSTIBLE						%Sector* $\Sigma$ (%Factor*%Rengló n)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Operaciones/ Procesos	30	30	30	30	30	10	0.081
Protección Integral	30	30	30	30			0.045
Mantenimiento	30	60	60	30	10		0.0704
Vigencia tecnológica	30	10					0.0825
Valor Critico							<b>0.2789</b>

### 3.2.4. Análisis de criticidad al sistema de admisión de aire

Tabla 15. Sistema de admisión de aire

FACTOR DE CRITICIDAD - ADMISIÓN DE AIRE							
SECTORES	F1	F2	F3	F4	F5	F6	%Sector* $\Sigma$ (%Factor*%Renglon)
Operaciones/ Procesos	10	10	30	30	30	10	0.0624
Protección Integral	60	30	30	30			0.0675
Mantenimiento	30	60	60	30	10		0.0704
Vigencia tecnológica	30	10					0.0825
Valor Critico							<b>0.2828</b>

### 3.2.5. Análisis de criticidad al Sub-sistema de escape

Tabla 16. Sub-sistema de escape

FACTOR DE CRITICIDAD -ESCAPE							
SECTORES	F1	F2	F3	F4	F5	F6	%Sector* $\Sigma$ (%Factor*%Renglon )
Operaciones/ Procesos	60	10	10	10	10	10	0.0495
Protección Integral	10	30	30	30			0.03
Mantenimiento	30	10	10	30	10		0.0484
Vigencia tecnológica	30	10					0.0825
Valor Critico							<b>0.2104</b>

### 3.2.6. Análisis de criticidad al sub-sistema eléctrico.

Tabla 17. Sub-sistema de eléctrico

SECTORES	FACTOR DE CRITICIDAD -ELÉCTRICO						%Sector* $\Sigma$ (%Factor*%Renglon )
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Operaciones/ Procesos	60	30	30	30	10	10	0.0867
Protección Integral	30	30	30	30			0.045
Mantenimiento	30	30	30	30	30		0.066
Vigencia tecnológica	30	10					0.0825
Valor Critico							<b>0.2802</b>

En la siguiente tabla 18, se determina el nivel de criticidad: Critico, Semi-Critico y No critico

Tabla 18. Nivel de criticidad

Sistema	Valor Critico	Critico $C > 0.37$	Semi-Critico $0.27 < C < 0.37$	No critico $C < 0.27$
Lubricación	0.3775			
Enfriamiento	0.3708			
Combustible	0.2789			
Admisión de aire	0.2828			
Escape	0.2104			
Eléctrico	0.2802			



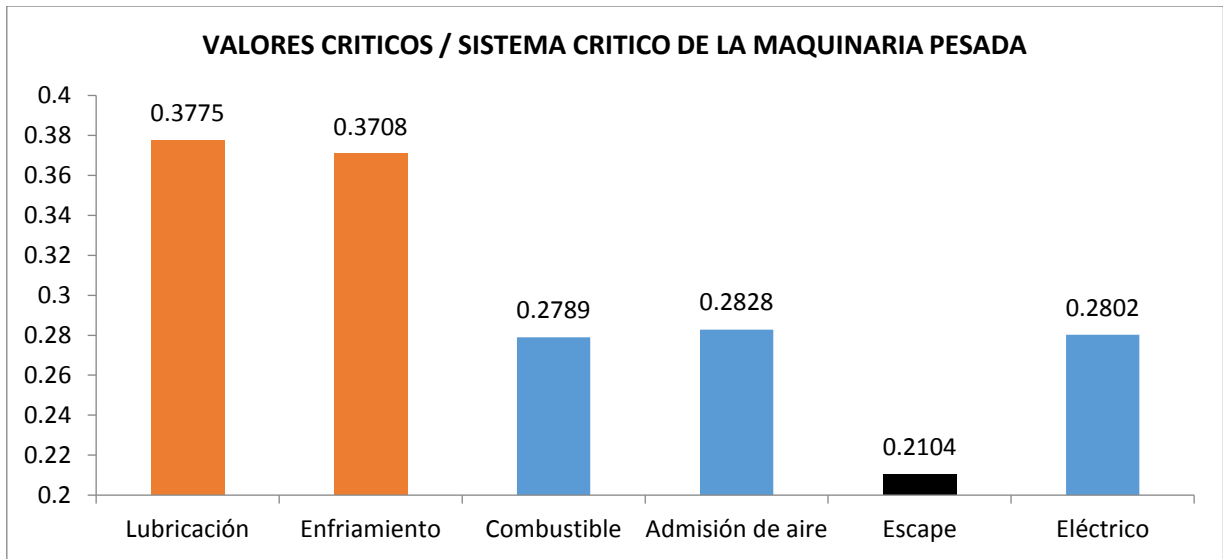


Figura 16. Niveles de criticidad de los sistemas de la maquinaria pesada de la MPM

3.3. Diseño del sistema en base al MBR para la aplicación en la maquinaria crítica, estableciendo formatos y tablas AMEF para el análisis del comportamiento de las fallas y evaluación del número de prioridad de riesgos

a) Primero agrupamos las fallas en sus sistemas correspondientes

En la tabla 19, se agrupan todas las fallas en forma general en sus sistemas correspondientes

Tabla 19. Sistemas en falla de la maquinaria critica de la MPM

Nº	Nombre del Sistema	Componentes principales
1	Lubricación	Bomba de aceite, válvula reguladora y de alivio de presión, filtro de aceite y enfriador de aceite.
2	Enfriamiento	Bomba de agua, filtro de refrigerante termostato, ventilador y radiador.
3	Combustible	Bomba de combustible, filtro de combustible, sensores de presión, temperatura, referencia y nivel.
4	Admisión de aire	Purificador de aire, múltiple de admisión, turbocargador y secador de aire.
5	Escape	Múltiple de escape.
6	Eléctrico	Alternador, batería y motor de arranque.

**b). Desarrollo los AMEF para los sistemas de la maquinaria pesada: Hojas de información y decisión**

**- AMEF para el sistema de lubricación:**

HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA/ACTIVO EQUIPO: Maquinaria Pesada				Hoja
				FACILITADOR	Fecha	1
MBR	SISTEMA/COMPONENTE	SISTEMA N°	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro		07/10/2016	De
	Lubricación	01				2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS			
1 Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros de aceite lubricante, enfriador de aceite lubricante y galería principal del aceite lubricante en el bloque de cilindros a una presión entre 52 y 70 psi.	A Incapaz de transferir el aceite lubricante o lo hace a una presión inferior a 52 psi.	1 Nivel de aceite bajo.	Pérdida de lubricación de elementos móviles del motor. Sobre calentamiento del motor. Rellene con aceite hasta el nivel de la varilla medidora. Tiempo de trabajo: 30 minutos.			
		2 Enfriador de aceite obstruido.	El enfriador de aceite obstruido se manifiesta por temperatura excesivamente alta del aceite lubricante. Si hay alta temperatura del aceite, verifique funcionamiento del sistema de Enfriamiento del motor. Remueva y limpie el núcleo del enfriador de aceite. Tiempo de trabajo: 1 día.			
		3 Tapones faltantes de la galería, cigüeñal o árbol de levas.	Baja presión de aceite, circulación pobre dentro del motor. Sobre calentamiento.			

		4 Tamices de admisión parcialmente obstruidos.	Baja presión de aceite. Circulación pobre. Sobre calentamiento. Remueva y limpie el cárter y el tamiz de admisión del aceite. Cambie los filtros del aceite.
		5 Pérdida de la succión del tamiz	No hay aspiración de aceite. Oriente o alargue tubería del tamiz de succión del aceite lubricante.
		6 Bomba de aceite desgastada o dañada	Pobre circulación de aceite y presión baja de éste. Reemplace o repare la bomba.
		7 Fuga de aire en la aspiración de la bomba	Pérdida en la presión de aceite. Desarme la tubería e instale juntas nuevas. Tiempo de trabajo: 4 hrs.
		8 Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas.	Pérdida en la presión del aceite. Reemplace la o las válvulas defectuosas.
	B Transfiere el aceite lubricante a una presión mayor a 52 psi.	1 Exceso de aceite en el cárter.	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de éste. Presencia de humo negro. Retire el aceite excedente del cárter. Tiempo de trabajo: 30 min.

HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada		Hoja
				FACILITADOR	Fecha
MBR		SISTEMA/COMPONENTE	SISTEMA N°	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	De
		Lubricación	01		2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
2 Lubricar elementos del motor	A Incapaz de lubricar o lo hace de manera defectuosa	1 Aceite lubricante incorrecto	Sobrecalentamiento del motor, ya que éste no lubricará correctamente los componentes que tienen roce y se producirá un desgaste excesivo.		
		2 Aceite contaminado	Buje central del eje armónico se sale de su posición debido a esto baja la presión de aceite produciéndose un desgaste interno. Pérdida de potencia y torque. Cambie aceite lubricante y filtros de aceite. Tiempo de trabajo: 2 hrs.		
3 Contener el aceite lubricante	A Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de éste.	1 Cáster roto o dañado	Pérdida de aceite proporcional al daño del cáster. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión. Reemplazar el cáster		
		2 Niples de sensores de presión de aceite con hilo cortado o falta de teflón.	Pérdida de aceite por este sector, la cual es mínima. Cambiar niple de sensor o agregar teflón en hilo para sellar. Tiempo de trabajo: 30 minutos.		
		3 Pérdida de aceite sector dámper	Fuga de aceite por interior de la masa del cigüeñal. Revise tapón del cigüeñal. Limpie de las partes involucradas en el montaje. Instale tapón con Loctite 515. Tiempo de trabajo 4 hrs.		

HOJA DE DECISION			SISTEMA/ACTIVO				EQUIPO: Maquinaria Pesada					Facilitador		Fecha	Hoja 1
MBR			SISTEMA/COMPONENTE				SISTEMA N°					Fred Jhonatan Ortiz Montenegro		07/10/2016	De 2
			Lubricación				01								
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Antes de cada turno revisar nivel de aceite lubricante de cada motor y añadir hasta el nivel indicado en la varilla.	Cada turno.	Operario.
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
1	A	6	S	N	N	S	S						Revise condición bomba de aceite lubricante	Anualmente	Técnico
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
1	B	1	S	N	N	S	S						Antes de cada turno revisar nivel de aceite lubricante de cada motor.	Diario	Operario

2	A	1	S	N	N	S	S						Agregue aceite lubricante correcto SAE 15W-40, junto con el cambio de filtros correspondientes.	A condición	Técnico
2	A	2	S	N	N	S	S						Toma de muestras de aceite.	Cada 125 hrs.	Operario
3	A	1	S	N	S		N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
3	A	2	S	N	S		N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
3	A	3	S	N	S		N	N	N				Ningún mantenimiento programado		

- AMEF al sistema de enfriamiento:

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada	FACILITADOR	Fecha	Hoja 1
MBR	SISTEMA/COMPONENTE Enfriamiento	SISTEMA N° 02	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De 2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
1 Mantener una temperatura adecuada de funcionamiento del motor y del líquido refrigerante entre 81 y 95°C.	A No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está por debajo de los 81°C.	1 Fugas excesivas por el sello del termostato.	Presencia de humo blanco. Motor no logra alcanzar su potencia nominal. Reemplace los sellos del termostato. Tiempo de trabajo: No más de 2 hrs.		
	B No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está por sobre los 95°C.	1 Circulación pobre de refrigerante, debido a falta de éste en el circuito. También puede deberse a mangueras deterioradas o dobladas	Alta temperatura de refrigerante, lo que provocará un calor excesivo del motor. Con ello la película de aceite lubricante se adelgazará en exceso, perderá sus propiedades lubricantes y refrigerantes, lo que podría ocasionar el desgaste de piezas y componentes internos.		
		2 Transferencia de calor insuficiente, debido a formación de escamas en el circuito de refrigeración.	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerante ocasiona sobrecalentamiento del motor y puede ocasionar que se pandeen los componentes. Es frecuente ver cabezas o monobloques fracturados, deterioro de mangueras, pérdida de potencia, contaminación de aceite y fallas en el sistema de escape cuando hay una condición de sobrecalentamiento.		



2 Bombear el líquido refrigerante por los enfriadores de aceite, el bloque de cilindros, las culatas y el intercambiador de calor.	A Incapaz de bombear el líquido refrigerante o lo hace de manera defectuosa.	1 Impulsor de la bomba de agua suelto o dañado.	Poca circulación de refrigerante por las partes del motor. Esto provocará un sobrecalentamiento del motor. Apriete el impulsor o reemplace si se encontrase deteriorado. Tiempo de trabajo: 3 hrs.
		2 Cavitación debido a aire atrapado en el sistema.	La cavitación es ocasionada por burbujas de aire que colapsan en el exterior de las paredes de las camisas de los cilindros durante la combustión. Estas burbujas de aire implosionan repetidamente en contra del costado de la camisa y puede ocasionar erosión de la misma que puede avanzar hacia la cámara de combustión. Debido a que la cavitación no puede eliminarse completamente, es necesaria la utilización de aditivos de refrigerante suplementarios para contar así con un recubrimiento protector continuo de la superficie metálica.

HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA/ACTIVO		EQUIPO: Maquinaria Pesada		Hoja	
MBR		SISTEMA/COMPONENTE		SISTEMA N°		FACILITADOR	
		Enfriamiento		02		Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	
						Fecha	
						2	
						De	
						2	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTOS DE LAS FALLAS	
3 Regular el flujo del refrigerante proveniente de los múltiples de agua y recircularlo por el motor según temperatura.		A Incapaz de regular el flujo de refrigerante o lo hace de manera incorrecta.		1 Termostato no cierra.		Funcionamiento con temperatura baja de refrigerante, ya que aunque este bajo los 81 °C igual circulará por el intercambiador de calor. Poca potencia. Presencia de humo blanco. Remueva, inspeccione y compruebe el termostato. Instale uno nuevo si fuese necesario. Tiempo de trabajo: No	
4 Contener el líquido refrigerante.		A Incapaz de contener el líquido refrigerante.		1 Fuga de refrigerante por sellos eje bomba.		Baja de nivel de refrigerante lo que produce un aumento de temperatura debido a la despresurización del sistema.	

HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA/ACTIVO				EQUIPO: Maquinaria Pesada						Facilitador		Fecha		Hoja
MBR			SISTEMA/COMPONENTE				SISTEMA N°			Fred Jhonatan Ortiz Montenegro			07/10/2016		De		
			Enfriamiento				02								1		
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia	A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.				
1	B	1	S	N	N	S	S						Verifique el nivel del refrigerante y llene hasta el cuello del llenador si el nivel de refrigerante está bajo. Inspeccione las mangueras para ver si están aplastadas o deterioradas. Reemplace las mangueras defectuosas.	Diario	Operador		
1	B	2	S	N	N	S	S						Limpie el sistema con un limpiador de sistemas de enfriamiento e inunde el sistema para remover los depósitos escamosos. Limpie el exterior del núcleo del Intercambiador de calor. Agregue el refrigerante y los aditivos adecuados y en cantidades establecidas por Detroit Diesel.	Anual			
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado				
2	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Drene el sistema de enfriamiento y mantener limpio.	Anual	Técnico		
3	A	1	S	N	N	S	S						Haga la inspección del termostato según manual motor.	Anual	Técnico		

4	A	1	S	N	N	S	S									Chequear estanquedad del sistema en pautas de mantención. Tomar muestras de refrigerante nuevo y con 500 hrs. de operación para análisis.	Cada 250 hrs.	Técnico
---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---------------	---------

- AMEF para el sistema de combustible:

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada	FACILITADOR	Fecha	Hoja 1
MBR	SISTEMA/COMPONENTE COMBUSTIBLE	SISTEMA N° 03	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De 2
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
1 Dosificar e inyectar la cantidad exacta de combustible dentro de la cámara de combustión, en el instante preciso, atomizado	A Incapaz de inyectar combustible, o lo hace de manera deficiente.	1 Fallo de los sellos de agua en culata, que separa sistema de enfriamiento del de inyección.	Al mezclarse refrigerante con petróleo, el motor funciona en forma errática y se detiene.		
		2 Colador y líneas del combustible restringidos.	Pérdida de potencia, funcionamiento irregular. Posibilidad de detención.		
		3 Exceso o distribución irregular del combustible	Humo negro o gris. Verifique la sincronización de los inyectores y la debida posición de las palancas de control de las cremalleras de los inyectores. Sincronice los inyectores y haga la afinación debida del regulador. Reemplace los inyectores defectuosos si esta condición persiste después de haber sincronizado los inyectores y de haber afinado el motor. evite el trabajo forzado del motor, pues esto causa combustión incompleta		
		4 Boquilla rociadora u orificios del inyector bomba obstruidos parcialmente	Mezcla pobre, pérdida de potencia del motor. La obstrucción puede deberse a material particulado en el combustible. Limpie la boquilla rociadora según procedimiento. Tiempo de trabajo: 1 día		
		5 Orificios del inyector agrandados.	Exceso de combustible dentro de la cámara. Combustible sin quemar dentro de la cámara. Reemplace el conjunto de válvula de aguja y boquilla rociadora. Tiempo de trabajo: 1 día.		

		6 Acumulación de suciedad en el inyector.	Baja inyección de combustible dentro de la cámara. Atomización deficiente. Presión baja de apertura de la válvula. Desarme el inyector y limpie todas las piezas. Tiempo de trabajo 1 día.
--	--	---	--

HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada		Hoja	
MBR		SISTEMA/COMPONENTE	SISTEMA N°	FACILITADOR	Fecha	2
		COMBUSTIBLE	03	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De 2
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS			
2 Transferir el combustible desde el estanque a los inyectores de combustible a una presión entre 60 y 80 psi y devolver el exceso al estanque.	A Incapaz de transferir el combustible	1 Falta de combustible	Circuito de combustible captará aire, por lo que el motor funcionará de forma errática y se apagará. Llene el tanque principal de combustible. Tiempo de trabajo: 1 hora.			
		2 Conexiones sueltas entre la bomba de combustible, línea de aspiración y el tanque.	Pérdida de potencia, funcionamiento irregular. Posibilidad de detención. Posibilidad de derrame de combustible. Apriete todas las abrazaderas de la línea. Ceba el sistema. Tiempo de trabajo: 2 horas			
		3 La bomba de combustible no gira	No hay abastecimiento de petróleo. Determine la condición del impulsor de la bomba de combustible y reemplace las piezas que estén defectuosas.			
		4 Engranajes o cuerpo de la bomba desgastados	Bajo abastecimiento de petróleo, funcionamiento irregular del motor. Reemplace el conjunto de engranaje y eje o el cuerpo de la bomba.			

HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA/ACTIVO							EQUIPO: Maquinaria Pesada										Hoja	
													FACILITADOR			Fecha		1			
MBR			SISTEMA/COMPONENTE							SISTEMA N°			Fred Jhonatan Ortiz Montenegro			07/10/2016		De			
			COMBUSTIBLE							03								1			
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frecuencia		A realizar por			
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4									
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado								
1	A	1	S	N	N	S	S						Haga la comprobación de caudal de combustible y, de ser necesario, reemplace los elementos del colador , filtro del combustible y las líneas de combustible			A condición	Técnico				
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado								
1	A	4	S	N	N	S	S						Haga los debidos cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible.			Cada 250 hrs.	Técnico				
1	A	5	S	N	N	S	S						Haga los debidos cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible.			Cada 250 hrs.	Técnico				
1	A	6	S	N	N	S	S						Haga los debidos cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible.			Cada 250 hrs.	Técnico				

2	A	1	S	N	N	S	S						Revise nivel de combustible. el tanque de combustible tiene que estar lleno por encima del nivel del tubo de aspiración del combustible.	Cada turno	Operador
2	A	2	S	N	N	S	S						Revise conexiones de combustible, abrazaderas.	Semanal	Operador
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
2	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		

- AMEF para la admisión de aire

HOJA DE INFORMACIÓN		EQUIPO: Maquinaria Pesada			Hoja
		FACILITADOR		Fecha	1
MBR	SISTEMA/COMPONENTE	SISTEMA N°	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De
	ADMISIÓN DEL AIRE	04			2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
1 Suministrar una masa de aire comprimida al interior de los cilindros.	A Incapaz de suministrar la masa de aire, o inyecta menos de la debida.	1 Lóbulos del soplador trabados por agente extraño.	Poca masa de aire al interior de los cilindros, muy poca potencia debido a mezcla muy pobre. Revisar y desarmar el soplador. Si se ha producido ralladura en los lóbulos, éstos deben ser reemplazados.		
		2 Falta de lubricación de los cojinetes	Soplador funciona forzado y no proporciona la masa de aire debida. Pérdida de potencia.		
	B Porción de masa de aire se desvía hacia el cárter.	1 Junta entre el soplador y el bloque dañada.	Alta presión de cárter. Cambie la junta. Tiempo de trabajo: Alrededor de 4 horas.		
		2 Fugas por la junta de la placa de extremo del bloque.	Alta presión de cárter. Reemplace la junta de la placa de extremo. Tiempo de trabajo: Alrededor de 5 hrs.		
		3 Anillos de lubricación gastados.	Alta presión de cárter. Compresión baja. Pérdida de potencia. Aire pasa desde la cámara de combustión al cárter produciendo un aumento de presión en el mismo. Reemplace juego de anillos. Revise estado de aceite. Tiempo de trabajo 1 día		
		4 Pistón rajado/quebrado o camisa de cilindro dañada.	Alta presión de cárter. Compresión baja. Pérdida de potencia. Reemplace kit completo (pistón, anillos camisa de cilindro.). Tiempo de trabajo:		



		5 Juntas de las culatas de los cilindros en mal estado.	Pérdida de potencia. Verifique compresión de cada cilindro y reemplace la junta del cilindro que presenta problemas. Tiempo de trabajo: 5 hrs.
2 Aumentar la eficiencia del motor.	A Incapaz de aumentar la eficiencia del motor.	1 Insuficiencia de Lubricación por: aceite fuera de la especificación u obstrucción en las tuberías o canales de lubricación de la carcasa central del turbo.	Se producen desgaste en elementos como: bujes radiales y de apoyo; cuello de eje, alojamientos de los bujes radiales en la carcasa central. Desgaste en las superficies del sello del plato del compresor y collarín. Se puede producir desbalanceo. También se ven huellas de bronce y azulado en los cuellos de los ejes. Se pueden apreciar exceso de humo, y una pérdida considerable de potencia. Enviar turbo a reparación empresa Detroit Chile S.A. Instalar Turbo nuevo. Tiempo de recambio 4 horas.
		2 Aceite contaminado por: carbonización por alta temperatura, partículas provenientes del desgaste de otros componentes del motor o residuos de combustión incompleta.	Se producen ralladuras y desgaste en: bujes radiales, cuellos del eje, bujes de apoyo y collarín, desbalanceo y/o ruptura de componentes del turbo. Se puede apreciar exceso de humo y una pérdida considerable de potencia. Enviar turbo a reparación a empresa Detroit Chile S.A. Instalar Turbo nuevo. Tiempo de recambio 4 horas.

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada			Hoja
MBR	SISTEMA/COMPONENTE	SISTEMA N°	FACILITADOR	Fecha	2
	ADMISIÓN DEL AIRE	04	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De 2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
		3 Obstrucción en el sistema de admisión de aire	Pérdida de potencia del motor. Limpie el conjunto de admisión de aire. Tiempo de Trabajo o más de 3 horas.		
		4 Material ajeno alojado en las ruedas del compresor o de turbina.	Turbo funciona incorrectamente o no lo hace. Verifique si el elemento ajeno dañó los alabes del compresor o de la turbina. Si fuese así reemplácelas por unas nuevas. Tiempo de trabajo 3 horas.		

		5 Acumulación de suciedad en el compresor.	Pérdida de potencia del motor. Limpie el compresor y sus elementos. Tiempo de trabajo 2 horas.
--	--	--	--

HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA/ACTIVO				EQUIPO: Maquinaria Pesada						Facilitador		Fecha		Hoja
MBR			SISTEMA/COMPONENTE				SISTEMA N°						Fred Jhonatan Ortiz Montenegro		07/10/2016		De
			ADMISIÓN DEL				04										1
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia		A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Verifique que la admisión de aire esté limpia y con su rejilla en óptimas condiciones. Después de alguna mantención al sistema de admisión de aire procure no dejar piezas o partes sueltas que puedan ser aspirados por el soplador.		A condición		Técnico
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Realice los cambios de aceite y filtros según pauta Detroit.		Cada 250 hrs.		Técnico
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado				
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado				
1	B	3	S	N	N	S	S						Realice los cambios de aceite y filtros según pauta Detroit.		Cada 250 hrs.		Técnico
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado				

1	B	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
2	A	1	S	N	N	S	S						Limpie los turbos según pauta de mantención Detroit. Reemplace el aceite lubricante junto con los respectivos cambios de filtros.	Cada 250 hrs.	Técnico
2	A	2	S	N	N	S	S						Realizar toma de muestra de aceite lubricante y líquido refrigerante.	Cada 250 hrs.	Operador
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado		
2	A	4	S	N	N	S	S						Revise estado de filtros del lado aspiración. Apriete la abrazadera del filtro para que no tenga juego.	Semanal	Operario
2	A	5	S	N	N	S	S						Realice el cambio de filtro, según estado de éste.	A Condición	Operario

- AMEF sistema de escape

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada		Hoja	
MBR	SISTEMA/COMPONENTE	SISTEMA N°	FACILITADOR	Fecha	1
	ESCAPE	05	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De 1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
1 Abrir y cerrar las canalizaciones (válvulas de escape) por donde escapan los gases quemados del interior de los cilindros.	A Abre o cierra las válvulas de manera defectuosa.	1 Válvula pegajosa, por depósitos de carbón en asientos o cabeza de válvula.	Debido a que las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto lleva a una pérdida de potencia. Limpie las válvulas, guías e insertos con combustible. Tiempo de trabajo: 1 día.		
		2 Válvula doblada.	Determine si existe contacto entre la cabeza de válvula y el pistón. Posibles daños en la guía e inserto de la válvula, la culata de cilindro o el pistón. Debido a que las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto conlleva a una pérdida de potencia. Reemplace las válvulas dobladas. Tiempo de trabajo: 1 día.		
		3 Todas las válvulas dobladas	Pérdida considerable de potencia, ya que todas las válvulas asientan incorrectamente. Verifique y corrija si existe una sincronización incorrecta del tren de engranajes. Tiempo de trabajo: 1 día.		
2 Conducir todos los gases quemados a un punto situado fuera de la sala de generación.	A Incapaz de conducir los gases o hay demasiada contrapresión de escape.	1 Tubería de escape defectuosa	Alta presión de cárter. Pérdida de potencia. Revisar tubería de escape y cambiar o reparar según corresponda.		

HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA/ACTIVO				EQUIPO: Maquinaria Pesada					Facilitador		Fecha	Hoja 1
MBR			SISTEMA/COMPONENTE				SISTEMA N°					Fred Jhonatan Ortiz Montenegro		07/10/2016	De 1
			ESCAPE				05								1
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisión estado de válvulas de escape.	Anual	Técnico
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Revisión estado de válvulas de escape.	Anual	Técnico
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Revisión estado de válvulas de escape.	Anual	Técnico
2	A	1	S	N	N	S	S						Revisar tubería de escape. Inspección visual.	Mensual	Operario

- AMEF: Sistema eléctrico

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO	EQUIPO: Maquinaria Pesada	FACILITADOR	Fecha	Hoja 1
MBR	SISTEMA/COMPONENTE ELECTRICO	SISTEMA N° 06	Fred Jhonatan Ortiz Montenegro	07/10/2016	De 1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS		
1 Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.	A Incapaz de suministrar energía.	1 Banco de Baterías descargado.	Motor no parte. Tiempo de cambio de las baterías: No más de 20 minutos.		
		2 Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	Motor no parte. Reemplazar o reparar las conexiones eléctricas, esto incluye cable y terminales. Tiempo de trabajo: Alrededor de 2 horas.		
		3 Bornes en mal estado.	Motor no parte. Cambiar todos los bornes de las baterías. Tiempo de trabajo: No más de 1 hora.		
	B Incapaz de hacer arrancar el motor.	1 Bendix del motor de arranque pegado.	Motor no parte. Enviar arranque a reparación empresa Atlas Copco. Instalar arranque de repuesto. Tiempo de recambio: No más de 2 horas.		
		2 Dientes del piñón del motor de arranque fracturados.	Dependiendo del grado de fractura es posible que no alcancen a engranar correctamente los dientes y el volante no alcance la inercia necesaria para que parta el motor. Enviar arranque a reparación empresa Atlas Copco. Instalar arranque de repuesto. Tiempo de recambio: No más de 2 horas.		

		3 Depósitos de carbón entre las delgas del motor de arranque.	Pérdida de fuerza del motor de arranque. Con ello no gira a la velocidad necesaria para arrancar el motor. Enviar arranque a reparación empresa Atlas Copco. Instalar arranque de repuesto. Tiempo de recambio: No más de 2 horas.
		4 Inducido del motor de arranque quemado.	Motor de arranque no gira. Enviar arranque a reparación empresa Atlas Copco. Instalar arranque de repuesto. Tiempo de recambio: No más de 2 horas.
2 Mantener la carga de la batería.	A Incapaz de mantener la carga de la batería.	1 Regulador de carga del alternador quemado.	Batería no cargará, el sistema de protección se encuentra inoperativo debido a la falta de electricidad. Reemplazar regulador de carga por uno nuevo. Tiempo de recambio: No más de 1 hora.

HOJA DE			SISTEMA/ACTIVO										EQUIPO: Maquinaria Pesada				Hoja		
DECISIÓN													FACILITADOR		Fecha		1		
MBR			SISTEMA/COMPONENTE										SISTEMA N°		Fred Jhonatan Ortiz Montenegro		07/10/2016		De
			ELECTRICO										06						1
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia		A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	S							Revisar cargadores de baterías 24V cargando.	Diario	Operador			
1	A	2	S	N	N	S	S							Revisar estado de cables y terminales eléctricos del motor. Esto incluye baterías, alternador y motor de arranque.	Diario	Operador			
1	A	3	S	N	N	S	S							Revisar bornes de batería. Apretar si fuese necesario.	Diario	Operador			
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado.					
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado.					
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado.					
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado.					
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado.					



**c) Número de prioridad de riesgos:**

En la siguiente tabla 19, se muestran la recopilación de todas fallas de la maquinaria pesada de la MPM, descritas líneas arriba. Para determinar los valores NPR, para cada falla involucrada en el AMEF, para ser considerada como: Inaceptable, reducción deseable y aceptable.

Se tiene:

Tabla 20. NPR de las fallas que afectan la operacionalización de las máquinas de la  
Municipalidad Provincial de Moyobamba

<b>N°</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>G</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>NPR</b>
1	Agrietamiento en el ventilador de refrigeración	7	6	8	336
2	Turbocompresor obstruido	8	5	6	240
3	Válvula o asiento quemado	5	7	5	175
4	Grietas en culata o bloque	8	7	6	336
5	Bomba de transferencia averiada	7	5	4	140
6	Eje de levas roto	7	7	7	343
7	Balancines agrietados	4	3	4	48
8	Deterioro del conjunto segmento-camisa-pistón	5	4	8	160
9	Muelles de válvula rotos	6	8	9	432
10	Fisuras en la camisa del cilindro	8	3	6	144
11	Junta de culata deteriorada	8	8	6	384
12	Piñones de la distribución agrietado	8	6	7	336
13	Guías de válvulas desgastadas	5	5	4	100
14	Inyectores averiados	6	8	9	432
15	Enfriadores topados	6	6	5	180
16	Bomba de inyección obstruida	4	4	5	80
17	Cojinetes de árbol de levas flojos	8	5	6	240
18	Camisas y segmentos desgastados	5	3	4	60
19	Ventilador de refrigeración agrietado	8	7	9	504
20	Holguras en guías de válvulas	8	7	6	336
21	Cojinetes de bancada desgastados	5	4	6	120
22	Restricciones en el sistema de admisión	8	7	6	336
23	Problemas en el turbocompresor por pérdida de potencia	7	8	4	224
24	Ángulo de avance a la inyección muy retrasado	5	8	4	160
25	Grietas en la camisa del cilindro	6	7	7	294
26	Bomba de refrigerante defectuosa	7	7	4	196
27	Filtro de aire roto	8	8	7	448
28	Camisa del cilindro agrietada	4	5	7	140
29	Filtro de aire colmatado o agrietado	4	6	6	144

30	Conductos obstruidos	8	7	9	504
31	Mal reglaje de taqués	4	5	3	60
32	Muelle de válvula roto o vencido	5	6	5	150
33	Presión de apertura de válvula de retorno de bomba alta	8	8	7	448
34	Radiador roto	5	4	8	160
35	Tarado del inyector bajo	6	4	3	72
36	Fugas en línea	7	7	8	392
37	Conjunto segmento-camisa deteriorado	4	5	4	80
38	Fallo del tapón del radiador	8	7	9	504
39	Deterioro del retén de la bomba de agua	7	9	5	315
40	Bomba de inyección defectuosa o mal reglada	8	4	7	224
41	Desgaste del conjunto camisa-segmentos-pistón	7	4	4	112
42	Junta de culata mal	9	9	7	567
43	Fisuras del filtro de aceite del diferencial	4	5	7	140
44	Desgastes de los bujes de oscilación del tándem	4	5	6	120
45	Desalineamiento de las juntas universales y cardanes	6	8	7	336
46	Rotura de los reductores planetarios	4	6	4	96
47	Rotura de la correa del alternador	4	5	7	140
48	Rotura de los terminales de la barra de dirección	8	9	7	504
49	Desalineamiento de la barra de inclinación de ruedas delanteras	5	4	3	60
50	Rotura del filtro de combustible	5	8	4	160
51	Vibración excesiva de los cojinetes de articulación del cilindro levante de lamina	8	8	6	384
52	Rotura de los pernos de desplazamiento lateral de la lamina	5	5	6	150
53	Defecto de la bomba de inyección	6	6	4	144
54	Defecto de los inyectores	6	5	4	120
55	Desgaste crítico de los cojinetes de bancada lubricados a presión	5	7	5	175
56	Rotura del cojinete de soporte del eje motriz	8	7	6	336
57	Rotura de las juntas universales del eje motriz	7	5	4	140
58	Rotura de las correas de transmisión	7	7	7	343
59	Rotura del filtro de aceite hidráulico	4	3	4	48
60	Rotura de la válvula de alivio del tanque hidráulico	5	4	8	160
61	Agrietamiento de las válvulas de escape del motor	6	8	9	432
62	Rotura de los engranes de la caja de transferencia	8	3	6	144
63	Rotura de los engranes de traslación	8	8	6	384
64	Rotura del filtro de aire	8	6	7	336
65	Rotura de los soportes del motor	5	5	4	100
66	Rotura de la roto válvula del motor	6	8	9	432
67	Rotura del filtro de ventilación del tanque hidráulico	6	6	5	180
68	Rotura de la faja trapezoidal del alternador	4	4	5	80

69	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible	8	5	6	240
70	Desalineamiento de los rodamientos del tren oscilante	5	3	4	60
71	Desalineamiento de los rodamientos de las ruedas	8	7	9	504
72	Rotura de las correas trapezoidales	8	7	6	336
73	Rotura de la junta de la tapa de válvula	5	4	6	120
74	Rotura de los cojinetes de la articulación	8	7	6	336
75	Cavitación de la bomba hidráulica	7	8	4	224
76	Rotura de la junta de la tapa de la válvula	4	5	6	120
77	Filtro de aire o conducto de admisión obstruido	6	8	7	336
78	Grupo de sobrealimentación defectuoso	4	6	4	96
79	Tubo de escape obstruido	4	5	7	140
80	Grietas en tubos y latiguillos del sistema de refrigeración	8	9	7	504
81	Grieta exterior en el bloque	5	4	3	60

Según se detalla en la tabla 19, del total de 81 fallas: 38 son Inaceptables (46.91%), 24 son reducción deseable (29.63%) y 19 son aceptables (23.46%)

**d) Estimación de los indicadores de mantenimiento en el estado de mejora con la aplicación del Mantenimiento basado en el riesgo**

En consecuencia el plan de mantenimiento basado en el riesgo, reducirá en un 46.91% las fallas inaceptables. Perdiéndose aun en la mejora un 53.09%

Tabla 21: Indicadores de mantenimiento en condiciones de mejora

<b>Maquinaria de la MPM</b>	<b>TP</b>	<b>TPR</b>	<b>TEF</b>	<b>Fallas</b>	<b>TPEF</b>	<b>TPPR</b>	<b>T.F</b>	<b>T.R</b>	<b>D(t)</b>	<b>C(t)</b>	<b>M(t)</b>
Volvo F12	1750	185.815	1564.185	6	267.844	31.8182	0.0037	0.03143	0.8938	0.9368	0.4231
Volvo N12	1500	111.489	1388.511	5	290.599	23.3333	0.0034	0.04286	0.9257	0.9497	0.4742
Scania P124C	2000	201.742	1798.258	7	241.942	27.1429	0.0041	0.03684	0.8991	0.9207	0.5214
Iveco trakker 380	1800	103.5255	1696.4745	4	399.434	24.3750	0.0025	0.04103	0.9425	0.9559	0.5222
Iveco 420	1200	90.253	1109.747	6	190.028	15.4545	0.0053	0.06471	0.9248	0.9388	0.5400
Excavadora Caterpillar 330 DL	1000	79.64	920.365	7	133.353	11.5385	0.0075	0.08667	92.04%	92.78%	57.96%
Excavadora New Holland E215C	1500	164.58	1335.421	8	167.693	20.6667	0.0060	0.04839	89.03%	91.44%	51.61%
Motoniveladora Komatsu GD511A	800	90.25	709.747	6	111.406	14.1667	0.0090	0.07059	88.72%	93.07%	43.15%
Motoniveladora Caterpillar 120H	500	58.40	441.601	8	51.987	6.8750	0.0192	0.14545	88.32%	90.83%	51.68%
Cargador frontal Komatsu WA 320	1700	169.89	1530.112	6	262.010	29.0909	0.0038	0.03438	90.01%	93.72%	44.25%
Cargador frontal Komatsu WA 180	1200	116.80	1083.202	8	136.021	14.6667	0.0074	0.06818	90.27%	91.56%	55.88%
Rodillo compactador Caterpillar CS533E	700	69.02	630.983	4	148.564	16.2500	0.0067	0.06154	90.14%	95.40%	35.00%
Rodillo compactador Caterpillar CS-663EFV	800	79.64	720.365	3	226.146	25.0000	0.0044	0.04000	90.05%	96.52%	27.39%
Tractor Oruga Caterpillar bulldozer D8R	1825	217.67	1607.331	6	275.233	37.2727	0.0036	0.02683	88.07%	93.58%	38.71%
Retroexcavadora de martillo Komatsu WB 93 R	650	63.71	586.292	5	122.704	13.3333	0.0081	0.07500	90.20%	94.84%	38.58%

Tabla 22: Incremento de los indicadores de mantenimiento

Maquinaria de la MPM	Indicadores de gestión actuales			Indicadores de gestión en mejora			Variación de los indicadores		
	A(t)	R(t)	M(t)	A(t)	R(t)	M(t)	$\Delta A(t)$	$\Delta R(t)$	$\Delta M(t)$
Volvo F12	80.00%	87.15%	42.31%	89.38%	93.68%	42.31%	9.38%	6.53%	Constante
Volvo N12	86.00%	90.06%	47.42%	92.57%	94.97%	47.42%	6.57%	4.91%	Constante
Scania P124C	81.00%	84.13%	52.14%	89.91%	92.07%	52.14%	8.91%	7.94%	Constante
Iveco trakker 380	89.17%	91.42%	52.22%	94.25%	95.59%	52.22%	5.08%	4.17%	Constante
Iveco 420	85.83%	87.97%	54.00%	92.48%	93.88%	54.00%	6.65%	5.91%	Constante
Excavadora Caterpillar 330 DL	85.00%	85.82%	57.96%	92.04%	92.78%	57.96%	7.04%	6.96%	Constante
Excavadora New Holland E215C	79.33%	82.77%	51.61%	89.03%	91.44%	51.61%	9.70%	8.67%	Constante
Motoniveladora Komatsu GD511A	78.75%	85.87%	43.15%	88.72%	93.07%	43.15%	9.97%	7.20%	Constante
Motoniveladora Caterpillar 120H	78.00%	81.45%	51.68%	88.32%	90.83%	51.68%	10.32%	9.38%	Constante
Cargador frontal Komatsu WA 320	81.18%	87.33%	44.25%	90.01%	93.72%	44.25%	8.83%	6.39%	Constante
Cargador frontal Komatsu WA 180	81.67%	83.22%	55.88%	90.27%	91.56%	55.88%	8.60%	8.34%	Constante
Rodillo compactador Caterpillar CS533E	81.43%	90.64%	35.00%	90.14%	95.40%	35.00%	8.71%	4.76%	Constante
Rodillo compactador Caterpillar CS-663EFV	81.25%	92.88%	27.39%	90.05%	96.52%	27.39%	8.80%	3.64%	Constante
Tractor Oruga Caterpillar bulldozer D8R	77.53%	86.77%	38.71%	88.07%	93.58%	38.71%	10.54%	6.81%	Constante
Retroexcavadora de martillo Komatsu WB 93 R	81.54%	89.55%	38.58%	90.20%	94.84%	38.58%	8.66%	5.29%	Constante

### 3.4. Evaluación económica

Análisis de Costos de mantenimiento: Los costos correctivos y preventivos fueron extraídos de la Oficina de Administración de la Municipalidad Provincial de Moyobamba

Tabla 23. Costos del Mantenimiento

<b>Costo de Mantenimiento Correctivo</b>	<b>Costo total US\$(anual)</b>
76-46 Pistón con anillos completos	542.42
190-004-g2. Magnetos AITRONIC completos	480.52
XA-5060 conjunto de embrague 7 PCS	1253.12
356-A-255 sistema de refrigeración	900.00
M-1985-A Rodamiento de embrague	200.52
M-1988-A Rodamientos de cigüeñal	300.25
z-750 válvulas	352.4
<b>Sub total</b>	4029.23
<b>Costo de Mantenimiento Preventivo</b>	<b>Costo total US\$(anual)</b>
Aceite	675.25
Grasa	52.75
Agua	203.45
Transporte de materiales	264
Kit de empaquetaduras	775.94
Sello de aceite de cigüeñal	138.56
Bujía	245
Filtros	225
Pernos	65.15
<b>Sub total</b>	2645.1
<b>Costo de Mantenimiento Predictivo</b>	<b>Costo total US\$(anual)</b>
Análisis Vibracional al rodamiento	300.00
Análisis de aceite	500.00
Análisis termo gráfico	200.00
<b>Sub total</b>	1000.00
<b>Total en costos de mantenimiento</b>	7674.33 US\$/año
<b>Total en costos de mantenimiento</b>	21488.124 S.//año

## Costos de producción en la reducción de horas perdidas por fallas de la maquinaria pesada

En la siguiente tabla 24, se detallan las pérdidas económicas de producción en estado actual y de mejora

Tabla 24: Beneficio económico, basado en el MBR en reducción al 46.91% de las fallas inaceptables

<i>Pool de máquina pesada de la MPM</i>		<i>TPR actual, hrs/año</i>	<i>Cunitario, S. /hora</i>	<i>Costo Actual S./ año</i>	<i>TPR Mejora (46.91%), hrs/año</i>	<i>Costo en mejora MBR S./año</i>	<i>Beneficio económico S./ año</i>
<i>Volquetes</i>	Volvo F12	350	120.00	42000	164	19702.2	22297.8
	Volvo N12	210	120.00	25200	99	11821.32	13378.68
	Scania P124C	380	180.00	68400	178	32086.44	36313.56
	Iveco trakker 380	195	150.00	29250	91	13721.175	15528.825
	Iveco 420	170	120.00	20400	80	9569.64	10830.36
<i>Excavadoras</i>	Caterpillar 330 DL	150	220.00	33000	70	15480.3	17519.7
	New Holland E215C	310	250.00	77500	145	36355.25	41144.75
<i>Motoniveladoras</i>	Komatsu GD511A	170	280.00	47600	80	22329.16	25270.84
	Caterpillar 120H	110	280.00	30800	52	14448.28	16351.72
<i>Cargadores frontales</i>	Komatsu WA 320	320	140.00	44800	150	21015.68	23784.32

	Komatsu WA 180	220	140.00	30800	103	14448.28	16351.72
<i>Rodillos compactadores</i>	Caterpillar CS533E	130	90.00	11700	61	5488.47	6211.53
	Caterpillar CS-663EFV	150	90.00	13500	70	6332.85	7167.15
<i>Tractor Oruga</i>	Caterpillar bulldozer D8R	410	200.00	82000	192	38466.2	43533.8
<i>Retroexcavadora de martillo</i>	Komatsu WB 93 R	120	190.00	22800	56	10695.48	12104.52
<b>Total</b>		<b>3395</b>		<b>579750</b>	<b>1593</b>	<b>271960.725</b>	<b>307789.275</b>



**- Beneficio neto**

$$(B)_{\text{neto}} = (B)_{\text{oper}} - C_m$$

$$(B)_{\text{neto}} = 307789.275 \text{ S.//año} - 21488.124 \text{ S.//año}$$

$$(B)_{\text{neto}} = 286301.151 \text{ S.//año}$$

$$(B)_{\text{neto}} = 102250.411 \text{ US$/año}$$

**- Inversión del mantenimiento predictivo**

Tabla 25: Tabla de inversión

Instrumentos.	Costo total US\$.
Vibrometro pcevt.: A= 0,1.....200,0 m/s <sup>2</sup> , V= 0,1.....400,0 mms-1. D=0.001 - 4.000mm	1500.00
Cámara Termográfica: T= -10 a +350 °C (14 a 660 °F), Sensibilidad =-0,3 °C a 30 °C. Precisión= El valor mayor de ±2 °C o +2% de la lectura en °C	3800.00
PODS Laser Particle Counter: Viscosidad= 2 a 424 CTS (30 a 2000 SUS). Limpieza de la clasificación= ISO 4406-1999.Concentración límite: 90.000 partículas/ml.	15000.00
Total	20300.00 US\$
Total	56840.00 S./

**- Periodo estimado para la recuperación de la inversión en activos fijos:**

$$\text{PRI} = (20300.00 \text{ US$}) / 102250.411 \text{ US$/año}$$

$$\text{PRI} = 0.2 \text{ años} \cong 3 \text{ meses}$$

**IV. DISCUSIÓN**

4.1. En el estudio de Benítez (2010), “Modelo de Gestión de mantenimiento basado en riesgo para máquinas y equipos de construcción” propuso un modelo de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (MBR), para incrementar la confiabilidad operacional de las máquinas y equipos de construcción civil, se evaluaron 41 equipos mediante la evaluación del AMEF obteniendo una disponibilidad en condiciones actuales de 81% y en mejora 90.17% lo que conlleva a un incremento de 9.71%, lo mismo se registró con la confiabilidad que aumento de 71.49% a 77.59% con un incremento de 6.1%. En comparación a los resultados de la presente tesis también se empleó el análisis de modos y efectos de fallos, permitiendo obtener un incremento máximo en la disponibilidad de las 15 máquinas pesadas de 10.54% y en la confiabilidad 9.38%, logrando reducir el tiempo entre fallas y el número de fallas de los equipos.

4.2. En el estudio de Villalba (2009), “Diseño de un sistema de información para la gestión de mantenimiento de una empresa de servicios energéticos”, evaluó 13 modos de falla mediante el número de prioridad de riesgo que implican 3 aspectos: gravedad, ocurrencia y detección; encontrando 10 fallas inaceptables que representan el 80%. En comparación con la presente tesis, se aplicó el mismo análisis NPR a 81 modos de falla, de los cuales 38 fallas resultaron inaceptables representando el 46.91% del total de las fallas.

4.3. En el estudio de Rivera (2011), “Sistema de gestión del mantenimiento industrial”, implemento un sistema de seguridad para la gestión del mantenimiento basado en 6 criterios la frecuencia de fallas, costos de producción, costos de mantenimiento, seguridad al personal de mantenimiento, seguridad a la población y medio ambiente para determinar la criticidad más relevante de un equipo industrial. En comparación con la presente tesis, se utilizó la misma metodología de cálculo para realizar el análisis de criticidad a los sistemas de la maquinaria pesada.

4.4. En el estudio de Rodríguez (2012), “Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa

minera de Cajamarca”, se estableció como indicadores para medir la gestión de mantenimiento en equipos de acarreo. Se analizaron los indicadores establecidos para el presente estudio que permita evaluar la gestión de mantenimiento. La disponibilidad de equipos llegó a 87% el cual se encuentra solo debajo a la meta propuesta por gerencia de 5% de equipos que deben estar disponibilidad para Operación Mina. La mantenibilidad llegó a 5.3 horas, excediendo un 0.3% de lo establecido técnicamente. El % de variación de costo de mantenimiento ha excedido en 5%, lo que significa que se ha incrementado los costos de mantenimiento en 5% de lo presupuestado para asegurar la disponibilidad de los equipos. Las tareas programadas no cumplidas en los tiempos establecidos no llegó al 90% establecido (83% logrado) , faltando un 7% de tareas programadas por cumplir. En comparación con la presente tesis se utilizó la misma metodología de cálculo para realizar el análisis de sus indicadores de gestión de mantenimiento a la maquinaria pesada,

4.5 En el estudio de Zegarra (2016), “Plan de mantenimiento preventivo basado en la criticidad de los equipos biomédicos de la Clínica Sánchez Ferrer, para aumentar su confiabilidad”, se evaluó 52 equipos biomédicos, En la evaluación de los indicadores de mantenimiento como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en estado actual, se obtuvo 19 equipos biomédicos con bajos indicadores de mantenimiento en un rango de confiabilidad (66.61% a 83.01%), disponibilidad (80.56% a 89.14%) y mantenibilidad (7.62% a 24.53%). Debido a tales condiciones los indicadores globales de todos los equipos biomédicos resultaron: 96.28% de confiabilidad, 90.64% en disponibilidad y 19.10% en mantenibilidad. Se analizaron los 52 equipos biomédicos mediante la evaluación de criticidad, esta metodología involucro 6 criterios o impactos tales como: impacto a la frecuencia de fallas, impacto en los costos de producción, impacto en los costos de mantenimiento, impacto a la seguridad del personal de mantenimiento, impacto a la población o pacientes e impacto ambiental. En comparación a los resultados de la presente tesis también se empleó el análisis de criticidad y de número de prioridad de riesgos (NPR), permitiendo obtener un incremento máximo en la disponibilidad de las 15 máquinas pesadas de 10.54% y en

la confiabilidad 9.38%, logrando reducir el tiempo entre fallas y el número de fallas de los equipos.

## V. CONCLUSIÓN

5.1. En la evaluación del mantenimiento actual de la maquinaria pesada del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba, se trabajó con las 15 máquinas pesadas más operativas, y el diagnóstico de fallas para dicha evaluación fue el periodo 2016. Se encontró que las máquinas pesadas tuvieron un tiempo para reparar en dicho año de 3395 horas, con un total de intervenciones de 169. Teniendo una disponibilidad entre 77.53% a 89.17%, confiabilidad de 81.45 a 92.88% y mantenibilidad de 27.39 a 57.96%. Para incrementar los indicadores de mantenimiento, fue necesario realizar un análisis de criticidad a la maquinaria, agrupando las principales fallas en sistema como: lubricación, enfriamiento, combustible, admisión, escape y eléctrico. El análisis de criticidad determinó que los sistemas más críticos son el de lubricación y enfriamiento; los semicríticos serían el combustible, admisión de aire y eléctrico y como no crítico al sistema de escape.

5.2. Se diseñó un sistema en base al mantenimiento basado en el riesgo, pero para ello me necesario el desarrollo de las AMEF, basado en el formato de hojas de información y hojas de decisiones para cada sistema de la maquinaria pesada, para luego a través de un número de prioridad de riesgos evaluar los 81 modos de falla, donde 38 fallas resultaron inaceptables (46.91%), 24 fallas reducibles a deseables (29.63%) y 19 fallas aceptables (23.46%). Es decir el MBR resolverá el 46.91% del total de fallas existentes en toda la maquinaria pesada, generando que la disponibilidad aumente en el rango de 88.32% a 94.25%, la confiabilidad también incremente de 91.44% a 96.52% pero manteniendo la mantenibilidad constante de 27.39% a 55.88%. Finalmente se logró aumentar la disponibilidad de toda la maquinaria pasada en un incremento de 5.08% a 10.54%.

5.3. Se proyectaron los costos económicos basado en la solución de las fallas inaceptables que representan el 46.91% de las fallas totales, para tal fin el tiempo para

reparar se redujo a 1592 horas, es decir perdiéndose aún 1803 horas para reparar. Concluyendo el beneficio logrado con la implementación del MBR es 102250.411 US\$/año con una inversión de 20300 US\$, con un periodo de retorno de la inversión de 3 meses.

## VI. RECOMENDACIONES

6.1. Ejecutar el desarrollo del MBR propuesto en hojas de decisiones para llevar un mayor control adecuado de cada una de las máquinas, para así de esta manera lograr el aumento de la disponibilidad.

6.2. Impartir cursos de capacitación al personal de mantenimiento del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba para lograr mantener un alto nivel técnico de conocimiento con respecto a planes de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivos; logrando cumplir las actividades de una manera eficiente.

6.3. Identificar a cada una de las maquinas asignando códigos, con el fin de llevar un control más exacto sin dar lugar a equivocaciones en las máquinas de similares características.

6.4. Se recomienda asignar el presupuesto necesario por parte de Municipalidad Provincial de Moyobamba para la adquisición de los diferentes repuestos y accesorios que serán empleados en las nuevas tareas de mantenimiento.

#### IV. REFERENCIAS

**Améndola León, Luis José. 2002.** *Modelos mixtos de confiabilidad*. Segunda. España, valencia. Datastream, 2002. ISBN 978-84-940628-2-7.

**Ávila Espinosa, Rubén. 1992.** *Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas*. Primera reimpresión. Cd. de México: Limusa Grupo Noriega Editores primera reimpresión, 1992. ISBN 968-18-2528-4.

**Benítez Padrón, Marilyn Aurora .2010.** *“Modelo de gestión de mantenimiento basado en riesgo para máquinas y equipos de construcción civil”*, Venezuela: Universidad de Zulia.

**Da Costa .2010.** *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

**Deming, 2008.** Las fases del ciclo de vida del servicio. *PDCA*. [En línea] 2 de Enero de 2008. [Citado el: 20 de Septiembre de 2015.]  
[http://itilv3.osiatis.es/proceso\\_mejora\\_continua\\_servicios\\_TI/ciclo\\_deming.php](http://itilv3.osiatis.es/proceso_mejora_continua_servicios_TI/ciclo_deming.php).

**Gálvez C. Illich .2009.** *Herramientas para la Mejora de los Procesos*. [En línea] 2 de enero del 2009. [Citado el: 10 de octubre del 2015] Ford Motor Company.  
<http://es.slideshare.net/illichgalvez/unidad-3-control-y-gestin-de-calidad>.

**Gestión del Mantenimiento. 2012.** Mantenimiento Productivo Total MPT. [En línea] 7 de Febrero de 2012. [Citado el: 1 de Octubre de 2015.]  
[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_44\\_176\\_10\\_295.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf).

**Mora Gutiérrez, Alberto. 2011.** Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control. Bogotá: Alfa omega editores Internacional, 2011. pág. 678. Sexta Edición. ISBN 978-958-682-769-0.

**Moubray, John Mitchell. 2004.** *RCM Reliability Centered Maintenance* - Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [Trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire: Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

**Pico Leguízamo, Cristian Rafael .2011.** *Gestión del mantenimiento para la sección de equipo caminero del Gobierno Municipal de Arajuno*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

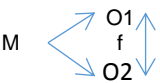
**Rivera Rubio, Enrique Miguel. 2011.** *Sistema de gestión del mantenimiento industrial*. Perú: Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

**Terminología del Mantenimiento. 2011.** UNE-EN 13306:2011. [En línea] 9 de Marzo de 2011. [Citado el: 5 de Septiembre de 2015.]  
<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046894#.VmEe6tV97IU>.

**Villalba Salazar, María Virginia. 2009.** *Diseño de un sistema de información para la gestión de mantenimiento de una empresa de servicios energéticos*. Venezuela: Universidad De Oriente Núcleo De Anzoátegui

## ANEXOS

### Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Marco Metodológico
¿En qué medida el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial De Moyobamba aumentará su disponibilidad y reducir los retrasos de la producción?	<p><b>Objetivo general:</b> Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba para aumentar su disponibilidad y reducir los retrasos de la producción.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la situación actual del mantenimiento del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba; determinando los valores porcentuales de los indicadores de mantenimiento y evaluación mediante un análisis de criticidad de riesgo</li> <li>- Diseñar el sistema en base al MBR para la aplicación en la maquinaria crítica, estableciendo formatos y tablas AMEF para el análisis del comportamiento de las fallas y evaluación del número de prioridad de riesgos. Y estimar los indicadores de mantenimiento con la implementación del MBR.</li> <li>- Proyectar un análisis económico en: costos de activos fijos, beneficio útil logrado Y PRI, con la implementación del diseño de un sistema de gestión de mantenimiento.</li> </ul>	El diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial De Moyobamba, aumentará su disponibilidad y reducirá los retrasos de la producción.	<p><b>Variables independientes:</b></p> <p>Sistema de gestión de mantenimiento basado en el MBR</p> <p><b>Variables dependientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicadores de mantenimiento</li> <li>- Costos de producción</li> <li>- Periodo de retorno de la inversión</li> <li>.</li> </ul>	<p><b>Dimensión Singular</b> Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el Riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial De Moyobamba</p> <p><b>Segunda Dimensión:</b> Determinando los sistemas críticos, semi críticos y no críticos</p> <p><b>Tercera dimensión es:</b> Determinar los sistemas críticos</p> <p><b>Cuarta dimensión:</b> Aumentar la Disponibilidad de la maquinaria pesada rededor de 5.08% a 10.54%.</p> <p>Aumentar la confiabilidad de la maquinaria pesada alrededor de 3.64% a 9.38%.</p> <p>Mantener constante la mantenibilidad de la maquinaria pesada rededor de 27.39%</p>	<p>Disponibilidad.</p> <p>Confiabilidad</p> <p>Mantenibilidad</p> <p>Productividad.</p>	<p>Método: Cuantitativo</p> <p>Tipo De Estudio: No Experimental</p> <p>Diseño : Correlacional</p> <p>Esquema:</p>  <p>Donde:</p> <p>M= Indica la muestra de estudio.</p> <p>O1=Variable relacional 1: ( Disponibilidad de equipos)</p> <p>O2=Variable relacional 2: ( Mejora de producción)</p> <p>F= Relación entre las variables estudiadas:</p>



## Anexo A.1. Programa de Implementación

SISTEMA EQUIPO	Lubricacion	Enfriamiento	Combustible	Admision de aire	Escape	Electrico
Volvo F12	_ Antes de cada turno revisar nivel de aceite lubricante de cada motor y añadir hasta el nivel indicado en la varilla (Cada Turno)	_ Verifique el nivel del refrigerante y llene hasta el cuello del llenador si el nivel de refrigerante está bajo. Inspeccione las mangueras para ver si están aplastadas o deterioradas, reemplace las mangueras defectuosas. (Diario)	_ Haga la comprobación de caudal de combustible y, de ser necesario, reemplace los elementos del colador, filtro del combustible y las líneas de combustible. (A condición)	_ Verifique que la admisión de aire esté limpia y con su rejilla en óptimas condiciones. Después de alguna mantención al sistema de admisión de aire procure no dejar piezas o partes sueltas que puedan ser aspirados por el soplador. (A condición)	_ Revisión estado de válvulas de escape. (Anual)	_ Revisar cargadores de baterías 24V cargando. (Diario)
Volvo N12						
Scania P124C	_ Revisar condición de bomba de aceite lubricante (Anualmente)	_ Limpie el sistema con un limpiador de sistemas de enfriamiento e inunde el sistema para remover los depósitos escamosos. Limpie el exterior del núcleo del intercambiador de calor. Agregue el refrigerante y los aditivos adecuados y en cantidades establecidas por Detroit Diesel. (Anual)	_ Haga los debidos cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible. (Cada 250 hrs)	_ Realice los cambios de aceite y filtros según pauta Detroit. (Cada 250 hrs)	_ Revisión estado de válvulas de escape. (Anual)	_ Revisar estado de cables y terminales eléctricos del motor. Esto incluye baterías, alternador y motor de arranque. (Diario)
Iveco trakkler 380	_ Antes de cada turno revisar nivel de aceite lubricante de cada motor (Diario)					
Iveco 420	_ Agregue aceite lubricante correcto SAE 15w – 40, junto con el cambio de filtros correspondientes. (A condición)	_ Drene el sistema de enfriamiento y mantener limpio. (Anual)	_ Revise nivel de combustible. el tanque de combustible tiene que estar lleno por encima del nivel del tubo de aspiración del combustible. (Cada turno)	_ Limpie los turbos según pauta de mantención Detroit. Reemplace el aceite lubricante junto con los respectivos cambios de filtros. (Cada 250 hrs)	_ Revisar tubería de escape. Inspección visual. (Mensual)	_ Revisar bornes de batería. Apretar si fuese necesario. (Diario)
Excavadora Caterpillar 330 DL						
Excavadora New Holland E215C	_ Toma de muestras de aceite (Cada 125 horas)	_ Haga la inspección del termostato según manual motor. (Anual)  _ Checar estanquedad del sistema en pautas de mantención. Tomar muestras de refrigerante nuevo y con 500 hrs de operación para análisis. (Cada 250 horas)	_ Revise conexiones de combustible, abrazaderas. (Semanal)	_ Realizar toma de muestra de aceite lubricante y líquido refrigerante. (Cada 250 hrs)  _ Revise estado de filtros del lado aspiración. Apriete la abrazadera del filtro para que no tenga juego. (Semanal)  _ Realice el cambio de filtro, según estado de éste. (A condición)		
Motoniveladora Komatsu GD511A						
Motoniveladora Caterpillar 120H						
Cargador frontal Komatsu WA 320						
Cargador frontal Komatsu WA 180						
Podillo compactador Caterpillar CS533E						
Podillo compactador Caterpillar CS-663EPV						
Tractor Oruga Caterpillar bulldozer D8R						
Retroexcavadora de martillo Komatsu WB 93 R						

**Anexo A.2.** Perdidas económicas del mantenimiento de maquinaria pesada. Fuente: Gerencia de mantenimiento de la MPM

Pool de máquina pesada de la MPM		Tiempo programado total, hrs/año	Tiempo perdido (Alquiler), hrs/año	Precio unitario por alquiler, S. /hora	Costo total en alquiler S./ año	Costo total en reparaciones S./ año	Pérdida económica neta S./ año
Volquetes	Volvo F12	1750	350	120.00	42000	8580.00	50580
	Volvo N12	1500	210	120.00	25200	5200.00	30400
	Scania P124C	2000	380	180.00	68400	6800.00	75200
	Iveco trakker 380	1800	195	150.00	29250	4900.00	34150
	Iveco 420	1200	170	120.00	20400	3450.00	23850
Excavadoras	Caterpillar 330 DL	1000	150	220.00	33000	6500.00	39500
	New Holland E215C	1500	310	250.00	77500	8500.00	86000
Motoniveladoras	Komatsu GD511A	800	170	280.00	47600	10250.00	57850
	Caterpillar 120H	500	110	280.00	30800	6000.00	36800
Cargadores frontales	Komatsu WA 320	1700	320	140.00	44800	9500.00	54300
	Komatsu WA 180	1200	220	140.00	30800	5300.00	36100
Rodillos compactadores	Caterpillar CS533E	700	130	90.00	11700	3900.00	15600
	Caterpillar CS-663EFV	800	150	90.00	13500	4810.00	18310
Tractor Oruga	Caterpillar bulldozer D8R	1825	410	200.00	82000	9950.00	91950
Retroexcavadora de martillo	Komatsu WB 93 R	650	120	190.00	22800	11200.00	34000
Total			<b>3395</b>		<b>579750</b>	<b>104840</b>	<b>684590</b>

### A.3. Fichas de Registro

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
Equipo:		Marca:
Tiempo en mantenimiento TPR:		Tiempo programado TP:
N°	Descripción de la falla	Intervenciones

#### A.4. Resultados de la ficha de registro

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Volquete	<b>Marca:</b> Volvo	<b>Modelo:</b> F12
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 350h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1750h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Agrietamiento en el ventilador de refrigeración	1
02	Turbocompresor obstruido	1
03	Válvula o asiento quemado	2
04	Grietas en culata o bloque	1
05	Bomba de transferencia averiada	3
06	Eje de levas roto	1
07	Balancines agrietados	2

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Volquete	<b>Marca:</b> Volvo	<b>Modelo:</b> N12
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 210h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1500h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Deterioro del conjunto segmento-camisa-pistón	1
02	Muelles de válvula rotos	1
03	Fisuras en la camisa del cilindro	1
04	Junta de culata deteriorada	1
05	Piñones de la distribución agrietado	2
06	Eje de levas roto	1
07	Guías de válvulas desgastadas	1
08	Inyectores averiados	1

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Volquete	<b>Marca:</b> Scania	<b>Modelo:</b> P124C
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 380h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 2000h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Enfriadores topados	1
02	Bomba de inyección obstruida	2
03	Cojinetes de árbol de levas flojos	1
04	Camisas y segmentos desgastados	2
05	Piñones de la distribución agrietado	2
06	Balancines agrietados	1
07	Guías de válvulas desgastadas	2
08	Ventilador de refrigeración agrietado	1
09	Holguras en guías de válvulas	1
10	Cojinetes de bancada desgastados	1

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Volquete	<b>Marca:</b> Iveco	<b>Modelo:</b> Trakker 380
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 195h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1800h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Restricciones en el sistema de admisión	1
02	Problemas en el turbocompresor por pérdida de potencia	2
03	Ángulo de avance a la inyección muy retrasado	1
04	Grietas en la camisa del cilindro	2
05	Bomba de refrigerante defectuosa	2

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Volquete	<b>Marca:</b> Iveco	<b>Modelo:</b> 420
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 170h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1200h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Balancines agrietados	3
02	Filtro de aire roto	2
03	Camisa del cilindro agrietada	1
04	Cojinetes de árbol de levas flojos	1
05	Enfriadores topados	2
06	Piñones de la distribución agrietado	2

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Excavadora	<b>Marca:</b> Caterpillar	<b>Modelo:</b> 330 DL
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 150h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1000h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Filtro de aire colmatado o agrietado	3
02	Conductos obstruidos	2
03	Filtro de aire roto	1
04	Camisa del cilindro agrietada	2
05	Mal reglaje de taqués	2
06	Muelle de válvula roto o vencido	1
07	Presión de apertura de válvula de retorno de bomba alta	2

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Excavadora	<b>Marca:</b> New Holland	<b>Modelo:</b> E215C
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 310h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1500h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Radiador roto	2
02	Tarado del inyector bajo	2
03	Fugas en línea	1
04	Conjunto segmento-camisa deteriorado	3
05	Fallo del tapón del radiador	1
06	Deterioro del retén de la bomba de agua	2
07	Bomba de inyección defectuosa o mal reglada	1
08	Desgaste del conjunto camisa-segmentos-pistón	2
09	Junta de culata mal	1

<b>Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba</b>		
<b>Equipo:</b> Motoniveladora	<b>Marca:</b> Komatsu	<b>Modelo:</b> GD511A
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 170h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 800h/año
<b>N°</b>	<b>Descripción de la falla</b>	<b>Intervenciones</b>
01	Fisuras del filtro de aceite del diferencial	1
02	Desgastes de los bujes de oscilación del tandem	1
03	Desalineamiento de las juntas universales y cardanes	1
04	Rotura de los reductores planetarios	1
05	Rotura de la correa del alternador	3
06	Rotura de los terminales de la barra de dirección	1
07	Desalineamiento de la barra de inclinación de ruedas delanteras	1
08	Rotura del filtro de combustible y filtro separador	1
09	Vibración excesiva de los cojinetes de articulación del cilindro levante de lamina	1
10	Rotura de los pernos de desplazamiento lateral de la lamina	1

<b>Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba</b>		
<b>Equipo:</b> Motoniveladora	<b>Marca:</b> Caterpillar	<b>Modelo:</b> 120H
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 110h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 500h/año
<b>N°</b>	<b>Descripción de la falla</b>	<b>Intervenciones</b>
01	Defecto de la bomba de inyección	2
02	Defecto de los inyectores	3
03	Rotura de los terminales de la barra de dirección	3
04	Restricciones en el sistema de admisión	2
05	Desalineamiento de la barra de inclinación de ruedas delanteras	1
06	Junta de culata deteriorada	1
07	Grietas en culata o bloque	3
08	Desgaste crítico de los cojinetes de bancada lubricados a presión	1

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Cargador frontal	<b>Marca:</b> Komatsu	<b>Modelo:</b> WA 320
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 320h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1700h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Rotura del cojinete de soporte del eje motriz	2
02	Rotura de las juntas universales del eje motriz	3
03	Rotura de las correas de transmisión del motor	1
04	Rotura del filtro de aceite hidráulico	4
05	Rotura del filtro primario de combustible	1

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Cargador frontal	<b>Marca:</b> Komatsu	<b>Modelo:</b> WA 180
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 220h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1200h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Rotura de la válvula de alivio del tanque hidráulico	1
02	Agrietamiento de las válvulas de escape del motor	2
03	Rotura de los engranes de la caja de transferencia	2
04	Rotura de los engranes de traslación	2
05	Rotura del filtro de combustible	1
06	Rotura del filtro de aire	1
07	Rotura de los soportes del motor	3
08	Rotura de las correas de transmisión	1
09	Rotura de la roto válvula del motor	2

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Rodillo compactador	<b>Marca:</b> Caterpillar	<b>Modelo:</b> CS533E
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 130h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 700h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Rotura del filtro de ventilación del tanque hidráulico	3
02	Rotura de la faja trapezoidal del alternador	2
03	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible	1
04	Cavitación de la bomba hidráulica	2



Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Rodillo compactador	<b>Marca:</b> Caterpillar	<b>Modelo:</b> CS-663EFV
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 150h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 800h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Desalineamiento de los rodamientos del tren oscilante	1
02	Desalineamiento de los rodamientos de las ruedas	1
03	Rotura de las correas trapezoidales	1
04	Rotura del filtro de aire	1
05	Rotura de la junta de la tapa de válvula	1
06	Defecto de los inyectores	1

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Tractor Oruga	<b>Marca:</b> Caterpillar	<b>Modelo:</b> bulldozer D8R
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 410h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 1825h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Rotura de los cojinetes de la articulación	2
02	Rotura del filtro de ventilación del tanque hidráulico	2
03	Rotura de la faja trapezoidal del alternador	1
04	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible	2
05	Cavitación de la bomba hidráulica	1
06	Rotura del filtro de combustible	1
07	Rotura de la junta de la tapa de la válvula	2

Pool de Maquinaria Pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba		
<b>Equipo:</b> Retroexcavadora de martillo	<b>Marca:</b> Komatsu	<b>Modelo:</b> WB 93 R
<b>Tiempo en mantenimiento TPR:</b> 120h/año		<b>Tiempo programado TP:</b> 650h/año
N°	Descripción de la falla	Intervenciones
01	Filtro de aire o conducto de admisión obstruido	3
02	Grupo de sobrealimentación defectuoso	2
03	Tubo de escape obstruido	1
04	Grietas en tubos y latiguillos del sistema de refrigeración	1
05	Grieta exterior en el bloque	2

## A.5. Algoritmo de resultados

<b>FUNCION:</b>			
<b>DATA EN CONDICIONES ACTUALES</b>			
TTP (h/año)	TPR (h/año)	TEF (h/año)	n (fallas/año)
<b>TIEMPOS MEDIOS DEL MANTENIMIENTO</b>			
TMEF (h. operación/falla)	TMPR (h. reparación /falla)		
<b>FACTORES O TASAS DEL MANTENIMIENTO</b>			
$\lambda$ (falla/h. operación)	$\mu$ (falla/h. reparación)		
<b>INDICADORES EN ESTADO ACTUAL</b>			
D (%)	C (%)	M (%)	

ANÁLISIS DE CRITICIDAD (EQUIPCRT)											
REGLONES	PONDERACIONES	SECTORES	PONDERACIONES DE FACTORES								
			F1	F2	F3	F4	F5	F6			
R1	0,1	OPERACIONES Y PROCESOS	0,3	0,13	0,18	0,21	0,23	0,1	0,15		
R2	0,3	PROTECCIÓN INTEGRAL	0,15	0,5	0,1	0,2	0,2				
R3	0,6	MANTENIMIENTO	0,22	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2			
		VIGENCIA	0,33	0,75	0,25						
CRITICIDAD											
NIVEL DE CRITICIDAD		SECTORES	F1	F2	F3	F4	F5	F6			
C>0,37	CRITICO	OPERACIONES Y PROCESOS									
0,27<C<0,37	SEMICRITCO	PROTECCIÓN INTEGRAL									
C<0,27	NO CRITICO	MANTENIMIENTO									
		VIGENCIA									

NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS										
FALLA	G	O	D	NPR	CLASIFICAR LA FALLA			NPR	CLASIFICACIÓN	
								NPR<125	ACEPTABLE	
								125<NPR<200	REDUCIBLE	
								NPR>200	INDESEABLE	

ANÁLISIS ECONOMICO		
<b>CP actual (S/año)</b>		
Cm (S./año)		
Cup (S./año)		
<b>CP mejora (S/año)</b>		
Cm (S./año)		
Cup (S./año)		
<b>ROI (Años)</b>		
I (S./)		
B (S./año)		